

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

**INDAGINI VIBRAZIONALI E MODELLAZIONE**  
**MAGAZZINO XXXXXXXXXXXXXXXXX**  
**XXXXXXXXXXXXXXXXXX (XX)**

**PROVE N. 867 ÷ 874/AA**

**18 e 19 settembre 2010**

Committente: **XXXXXXXXXXXXXX**  
Modellazione: **dott. ing. Maurizio Bruson**  
Relatori: **dott. ing. Tommaso Bianchi**  
**dott. ing. Roberto Bruson**



**Magazzino XXXXXXXXXXXXX - XXXXXXXX (XX)**

Bolzano, 30 settembre 2010

## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. PREMESSA .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1.1. Descrizione della struttura.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1.2. Posizione delle indagini .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>2. MISURA DELLA PLANARITA DEI SOLAI.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2.1. Strumentazione impiegata .....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2.2. Disposizione dei punti di battuta.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2.3. Risultati .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>3. CONFRONTO VIBRAZIONALE TRA LA SOLETTA E LE TRAVI A <math>\Pi</math>.....</b>           | <b>10</b> |
| <b>3.1. Strumentazione impiegata .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>3.2. Posizione dei sensori di misura.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>3.3. Modalità di fissaggio.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>3.4. Sorgente delle vibrazioni.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>3.5. Analisi dei risultati .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>4. RILEVAZIONI VIBRAZIONALI E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA .....</b>                        | <b>15</b> |
| <b>4.1. Strumentazione impiegata .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>4.2. Posizione dei sensori di misura.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>4.3. Acquisizione dei dati.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>4.4. Modalità di fissaggio.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>4.5. Sorgente delle vibrazioni.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>4.6. Modalità di elaborazione .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>4.7. Valutazione degli errori .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>4.8. Analisi dei risultati .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>4.8.1. Prova 867/AA, solaio carico tra le colonne 7 ed 8.....</b>                         | <b>20</b> |
| <b>4.8.2. Prova 868/AA, solaio libero da carichi tra le colonne 5 e 6 .....</b>              | <b>23</b> |
| <b>4.8.3. Caratterizzazione dinamica solaio libero da carichi tra le colonne 5 e 6 .....</b> | <b>25</b> |
| <b>4.9. Verifica dei limiti di norma.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>5. PROVE DI CARICO STATICHE E STATICHE - DINAMICHE.....</b>                               | <b>30</b> |
| <b>5.1. Descrizione della strumentazione.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>5.2. Ubicazione delle prove.....</b>  | <b>31</b> |

|   |  |
|---|--|
| 5.3. Applicazione del carico .....  | 31   |
| 5.4. Descrizione delle prove.....   | <b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b> |
| 5.4.1. Prove di carico .....  | 32   |
| 5.4.2. Prove di carico statiche - dinamiche .....                           | 36   |
| 5.5. Risultati .....  | 37   |
| 5.5.1. Prove di carico .....  | 37   |
| 5.5.2. Prove di carico statiche - dinamiche .....                           | 39   |
| <b>6. MODELLAZIONE NUMERICA .....</b>                                       | <b>47</b>                                    |
| 6.1. Il modello agli elementi finiti .....                                  | 47   |
| 6.2. Identificazione dinamica .....   | 49   |
| 6.3. Analisi dello stato di deformazione dovuto ai carichi di prova .....   | 50   |
| 6.3.1. Frece teoriche .....   | 59   |
| 6.4. Analisi dello stato di deformazione dovuto ai carichi di progetto..... | 60   |
| 6.4.1. Azioni dovute alle scaffalature .....                                | 60   |
| 6.4.2. Azioni dovute al miniload .....                                      | 61   |
| 6.4.3. Combinazioni di carico .....   | 62   |
| 6.4.4. Frece teoriche .....   | 63   |
| 6.5. Confronto tra dati teorici e sperimentali.....                         | 68   |
| <b>7. CONCLUSIONI .....</b>   | <b>69</b>                                    |
| 7.1. Riassunto dei risultati.....   | 69   |
| 7.2. Considerazioni tecniche finali.....                                    | 72   |

### 1. PREMESSA

La Società *4 EMME Service Spa*, specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata dalla **XXXXXXXXXXXXXX**, di eseguire una serie di rilevazioni sperimentali su un proprio edificio industriale sito a **XXXXXXXX (XX)**.

Le misure hanno lo scopo di verificare il comportamento dinamico delle strutture in oggetto e si prefiggono due obiettivi:

- individuare le eventuali anomalie vibrazionali sulle strutture allo stato di fatto, per valutare se gli effetti ampiezza-frequenza rientrano nei limiti ammessi dalla normativa UNI 9916;
- definire attraverso una serie di indagini sperimentali e teoriche quali saranno gli spostamenti massimi rilevabili al passaggio dei muletti robotizzati, che verranno installati in un settore del magazzino, in modo da capire se tali deformazioni possano implicare delle complicazioni per i sistemi automatici.

Le acquisizioni sono avvenute nelle giornate di sabato 18 e domenica 19 settembre 2010, ed hanno seguito la procedura riportata:

- misura della planarità dei solai;
- confronto vibrazionale tra la soletta e le travi a pigreco;
- rilievo sperimentale del comportamento vibratorio e/o oscillatorio del complesso delle strutture secondo la norma UNI 9916, in un solaio con presenza di scaffalature ed in uno libero;
- verifica in sito della geometria del capannone;
- modello numerico agli elementi finiti di un solaio tipo di riferimento;
- caratterizzazione dinamica del solaio di riferimento;
- prova di carico statica e statica – dinamica sul solaio di riferimento attraverso tre muletti con carichi crescenti, disposti lungo l'asse longitudinale delle travi;
- prova di carico statica e statica – dinamica sullo stesso solaio con l'aggiunta lungo le travi adiacenti di carichi prefissati;
- prova di carico statica e statica – dinamica sul solaio di riferimento attraverso tre muletti con carichi crescenti, disposti lungo l'asse trasversale di mezzera delle travi;
- prova di carico statica e statica – dinamica sullo stesso solaio con l'aggiunta di carichi prefissati adiacenti;
- calibrazione del modello numerico;
- definizione degli abbassamenti massimi raggiunti utilizzando il coefficiente dinamico sperimentale con posizionamento delle scaffalature nella direzione di progetto ed in senso ortogonale.

Le misure vibrazionali sono state effettuate nel rispetto della norma UNI 9916 "*Criteri di misura e valutazioni degli effetti delle vibrazioni sugli edifici*" e gli effetti sono stati valutati in base ai limiti della norma DIN 4150, parte 3 "*Erschütterungen im Bauwesen - Einwirkungen auf bauliche Anlagen*", febbraio 1999.

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



Le rilevazioni sono state eseguite dal personale della 4 EMME Service S.p.A. nelle persone dei geometri Simone e Jacopo Bertocci e degli ingegneri Tommaso Bianchi e Roberto Bruson.

All'esecuzione dei rilievi hanno assistito il sig. XXXXXXXX, Responsabile del magazzino XXXXXX e l'ing. XXXXXXXX XXXXX quale consulente della XXXXXXXX.

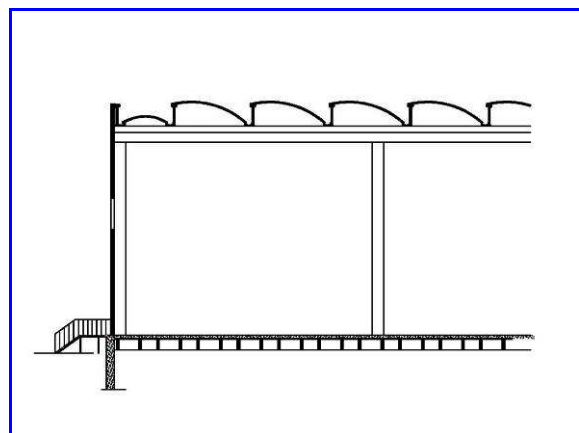


*Ubicazione del magazzino XXXXXXXX*

### 1.1. Descrizione della struttura

L'edificio industriale, sito nella zona produttiva di XXXXXXXX in provincia di XXXX, copre un'area di 170 m x 280 m ed è costituito un piano fuori terra ed uno interrato per le vie di fuga, con struttura portante in travi a pigreco in calcestruzzo armato precompresso che poggiano su dei setti trasversali; le fondazioni sono su plinti con pali in profondità.

Il piano terra è ad uso magazzino, ha un'altezza di 12 m ed è diviso in vari settori nei quali sono presenti scaffalature a tutta altezza, celle frigorifere o aree di carico e scarico.



*Vista delle scaffalature e della sezione trasversale*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

Nella pagina seguente si riportano la planimetria delle fondazioni, dello stato attuale del magazzino e quella secondo il progetto di automazione.

*Planimetria delle fondazioni*

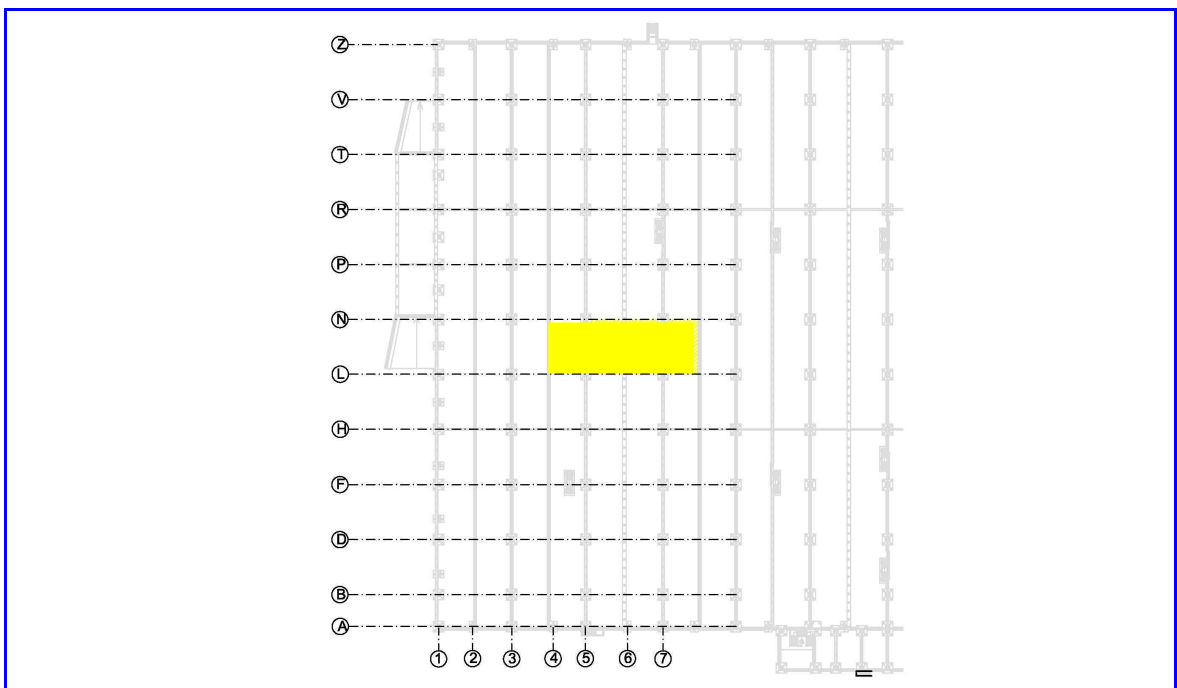
*Pianta allo stato attuale*



*Pianta con sistema automatizzato*

**1.2. Posizione delle indagini**

I solai esaminati sono quelli riportati nello schema seguente compresi tra le colonne dei pilastri 4 e 8 e N ed L come riportato nello schema seguente. I muri di appoggio delle travi formanti i solai sono quelli numerati.



*Zone d'indagine*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

### 2. MISURA DELLA PLANARITA DEI SOLAI

Sono state eseguite delle misure di planarità lungo 4 direttrici, 3 trasversali ai solai in corrispondenza della mezzeria delle travi poste tra le colonne 4-5, 5-6 e 6-7 ed una longitudinale tra la N e la L dello schema precedente.

#### 2.1. Strumentazione impiegata

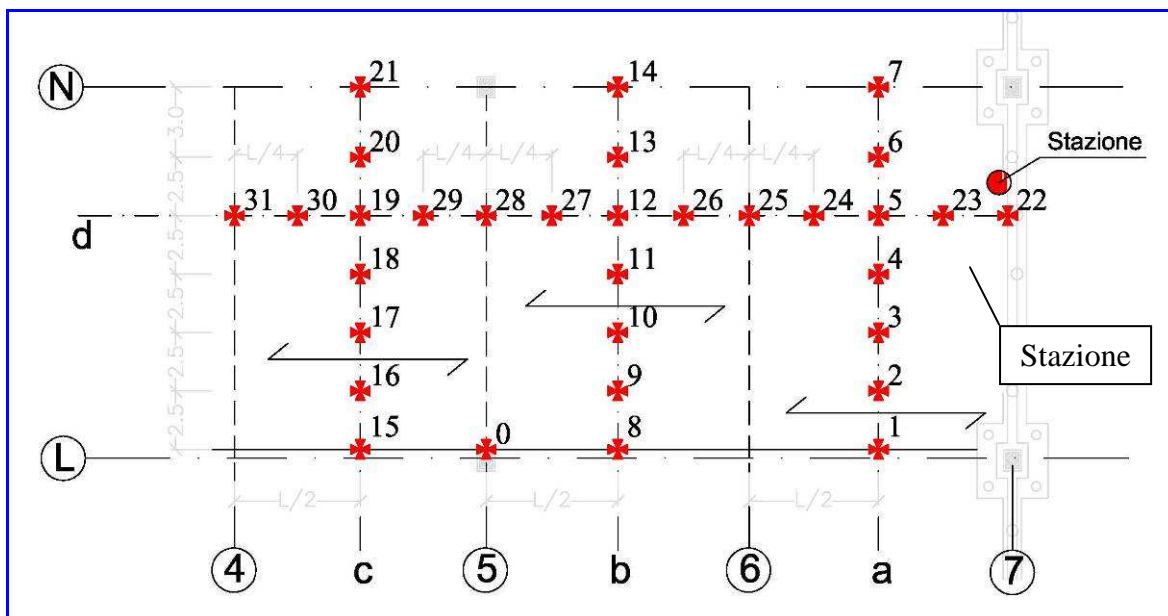
Per la misura della planarità dei solai è stato utilizzato un livello a lamina pianparallela modello *Sokkia B20* n° 134956.



*Vista della strumentazione e della stadia per le misure*

#### 2.2. Disposizione dei punti di battuta

Nello schema seguente si riportano i punti di misura. Il punto 0 al pilastro è quello di controllo. La direttrice longitudinale “d” presenta i punti di battuta ogni quarto della luce del rispettivo solaio.



*Punti di battuta e direttrici di misura*



**2.3. Risultati**

Nella tabella seguente si riportano in quarta colonna il dislivello tra il primo e l'ultimo punto della direttrice, in quinta le distanze tra un punto e l'altro lungo la direttrice, in sesta le ordinate della retta congiungente i due estremi ed in ultima le differenze tra retta e lettura. Lungo la direttrice "d" sono state considerate 3 rette, dalla battuta 22 alla 25, dalla 25 alla 28 e dalla 28 alla 31.

Tabella 1: misure della planarità

| Direttrice | Battuta   | Lettura[cm] | Dislivello [cm] | x [cm] | y [cm] | $\Delta$ [cm] |
|------------|-----------|-------------|-----------------|--------|--------|---------------|
| Controllo  | 0         | 151,23      |                 |        |        |               |
| <b>a</b>   | 1         | 151,90      | 0,00            | 0      | 151,90 | 0,00          |
|            | 2         | 152,19      | 0,29            | 250    | 152,17 | -0,02         |
|            | 3         | 152,68      | 0,78            | 500    | 152,44 | <b>-0,24</b>  |
|            | 4         | 152,68      | 0,78            | 750    | 152,71 | 0,03          |
|            | 5         | 153,00      | 1,10            | 1000   | 152,98 | -0,02         |
|            | 6         | 153,02      | 1,12            | 1250   | 153,25 | 0,23          |
|            | 7         | 153,58      | <b>1,68</b>     | 1550   | 153,58 | 0,00          |
| Controllo  | 0         | 151,25      |                 |        |        |               |
| <b>b</b>   | 8         | 152,47      | 0,00            | 0      | 152,47 | 0,00          |
|            | 9         | 152,51      | 0,04            | 250    | 152,66 | 0,15          |
|            | 10        | 152,91      | 0,44            | 500    | 152,84 | -0,07         |
|            | 11        | 153,01      | 0,54            | 750    | 153,03 | 0,02          |
|            | 12        | 153,55      | 1,08            | 1000   | 153,21 | <b>-0,34</b>  |
|            | 13        | 153,60      | 1,13            | 1250   | 153,40 | -0,20         |
|            | 14        | 153,62      | 1,15            | 1550   | 153,62 | 0,00          |
| Controllo  | 0         | 151,24      |                 |        |        |               |
| <b>c</b>   | 15        | 153,94      | 0,00            | 0      | 153,94 | 0,00          |
|            | 16        | 153,94      | 0,00            | 250    | 153,82 | <b>-0,12</b>  |
|            | 17        | 153,74      | -0,20           | 500    | 153,69 | -0,05         |
|            | 18        | 153,52      | -0,42           | 750    | 153,57 | 0,05          |
|            | 19        | 153,44      | -0,50           | 1000   | 153,45 | 0,01          |
|            | 20        | 153,31      | -0,63           | 1250   | 153,33 | 0,02          |
|            | 21        | 153,18      | -0,76           | 1550   | 153,18 | 0,00          |
| Controllo  | 0         | 151,24      |                 |        |        |               |
| <b>d</b>   | 22        | 152,60      | 0,00            | 0      | 152,60 | 0,00          |
|            | 23        | 152,82      | 0,22            | 275    | 152,90 | 0,08          |
|            | 5         | 153,00      | 0,40            | 550    | 153,20 | 0,19          |
|            | 24        | 153,84      | 1,24            | 825    | 153,49 | <b>-0,35</b>  |
|            | 25        | 153,79      | 1,19            | 1100   | 153,79 | 0,00          |
|            | 26        | 153,53      | 0,93            | 283    | 153,73 | <b>0,20</b>   |
|            | 12        | 153,55      | 0,95            | 565    | 153,68 | 0,13          |
|            | 27        | 153,63      | 1,03            | 848    | 153,62 | -0,01         |
|            | 28        | 153,56      | 0,96            | 1130   | 153,56 | 0,00          |
|            | 29        | 153,60      | 1,00            | 270    | 153,40 | -0,20         |
|            | 19        | 153,44      | 0,84            | 540    | 153,23 | -0,21         |
|            | 30        | 153,47      | 0,87            | 810    | 153,07 | <b>-0,41</b>  |
|            | 31        | 152,90      | 0,30            | 1080   | 152,90 | 0,00          |
|            | Controllo | 0           | 151,25          |        |        |               |

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

### 3. CONFRONTO VIBRAZIONALE TRA LA SOLETTA E LE TRAVI A $\Pi$

L'obiettivo di questa indagine è quello di valutare attraverso un confronto delle vibrazioni se soletta superiore e estradosso della trave a pigreco sono solidali.

#### 3.1. Strumentazione impiegata

La strumentazione impiegata per le rilevazioni è composta da:

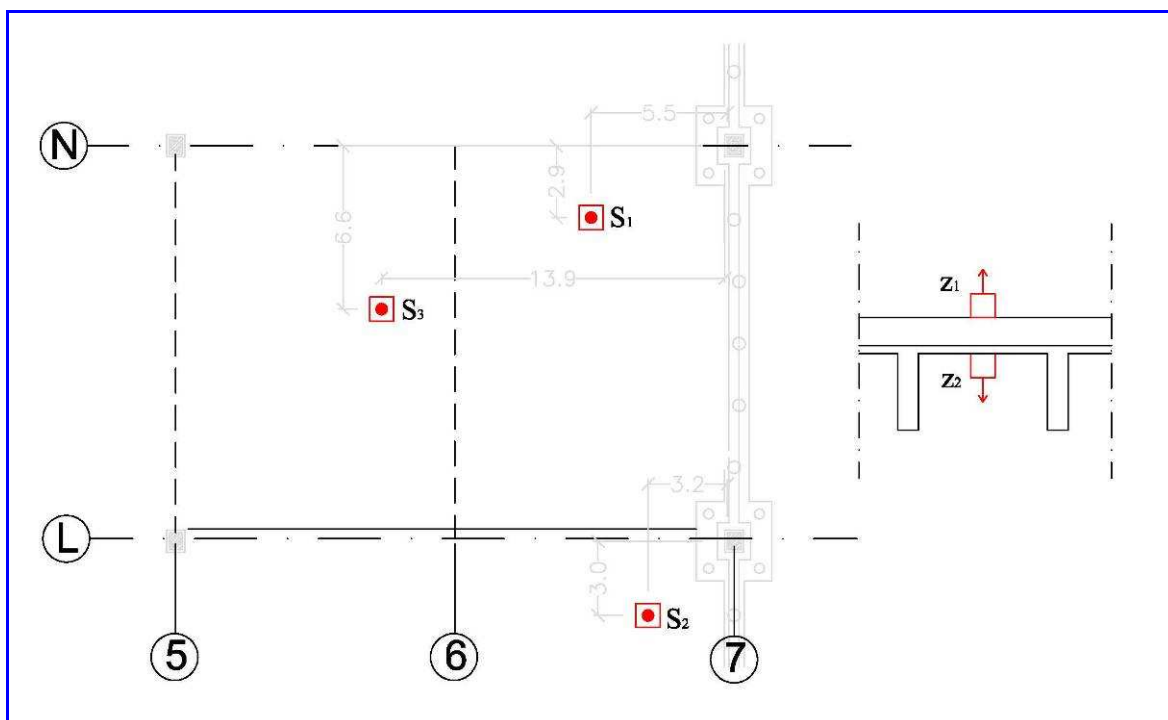
- 2 accelerometri piezoelettrici PCBM19A:  
*sensibilità:* 1V/g ;  
*campo:*  $\pm 5g$  ;  
*risoluzione:*  $2 \times 10^{-5} g$  ;  
*campo di frequenza:* 0,025-800 Hz;
- convertitore analogico-digitale IoTech (13 bit);
- computer Compaq.



*Sensore accelerometrico*

#### 3.2. Posizione dei sensori di misura

Sono state scelte tre zone a campione,  $S_1$ ,  $S_2$  ed  $S_3$ , sui solai liberi dalle scaffalature e posti i sensori in corrispondenza dell'estradosso della soletta e dell'intradosso delle travi a pigreco lungo lo stesso asse verticale. Di seguito si riporta lo schema.



*Disposizione dei sensori di misura*

**3.3. Modalità di fissaggio**

Il sensore accelerometrico è stato fissato su un cubo in alluminio a sua volta fissato sulla soletta o all'intradosso con della colla.



*Sensori accelerometrici Z<sub>1</sub> e Z<sub>2</sub>*

**3.4. Sorgente delle vibrazioni**

E' stata considerata quale sorgente di vibrazione il passaggio dei commissionatori e dei retrattili presenti all'interno del magazzino.



*Postazione di acquisizione*



*Passaggio di un commissionatore*

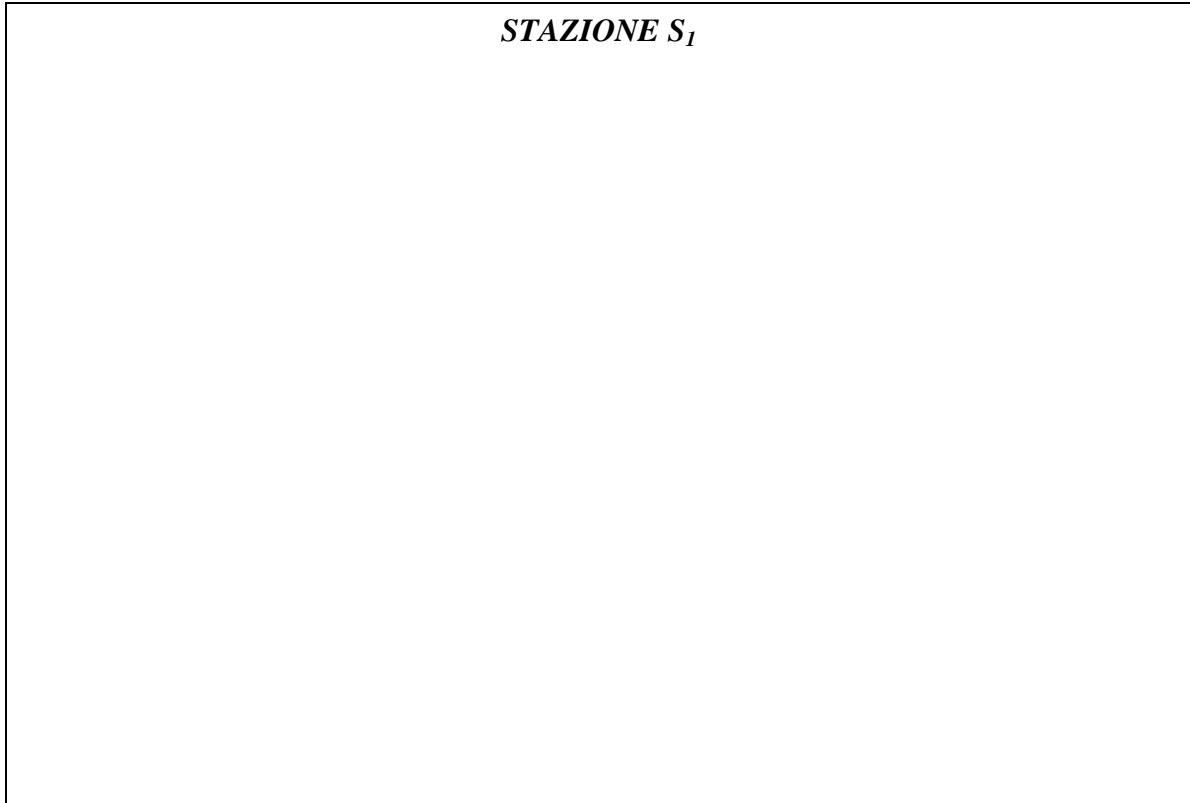
Nella tabella successiva sono associati ai file di acquisizione la tipologia degli impulsi applicati.

| File | Stazione       | Tipologia impulso               |
|------|----------------|---------------------------------|
| 1    | S <sub>1</sub> | Passaggio di un commissionatore |
| 2    | S <sub>2</sub> | Passaggio di un retrattile      |
| 3    | S <sub>3</sub> | Passaggio di un commissionatore |

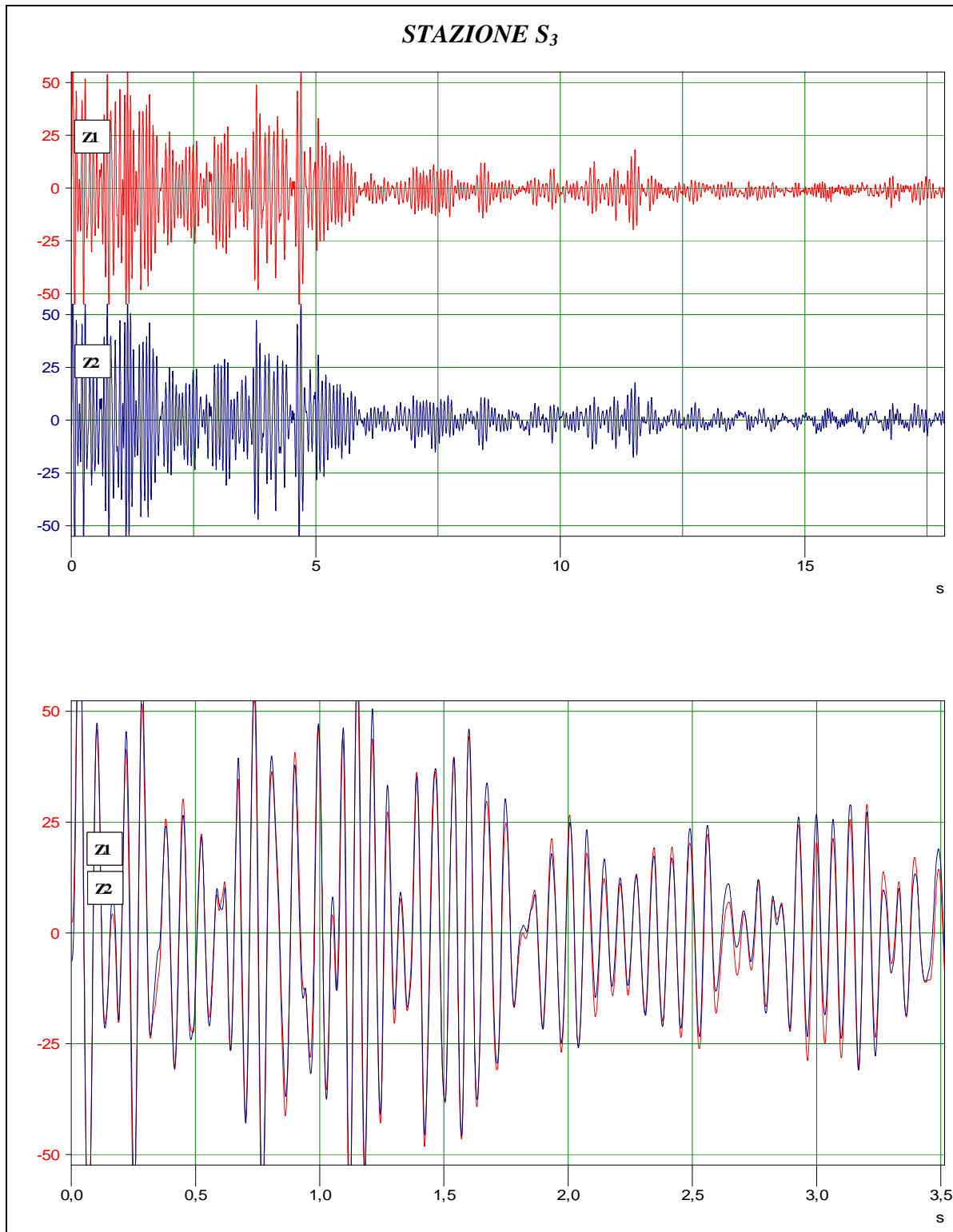
**3.5. Analisi dei risultati**

Si riportano di seguito i risultati delle analisi per il confronto delle oscillazioni tra soletta e travi. Per ogni file sono riportati due vibrogrammi, uno con l'intera acquisizione e l'altro con una finestra temporale del segnale per verificare eventuali differenze di ampiezze.

In ascissa il tempo è espresso in secondi ed in ordinata l'accelerazione è espressa in mm/s<sup>2</sup>.



*STAZIONE S<sub>2</sub>*



**4. RILEVAZIONI VIBRAZIONALI E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA**

Sono stati eseguiti due rilievi del comportamento vibratorio del complesso delle strutture secondo la norma UNI 9916, in un solaio con presenza di scaffalature, prova 867/AA, ed in uno libero, prova 868/AA. Sul solaio libero è stata eseguita anche la caratterizzazione dinamica.

**4.1. Strumentazione impiegata**

La strumentazione impiegata per le rilevazioni è composta da:

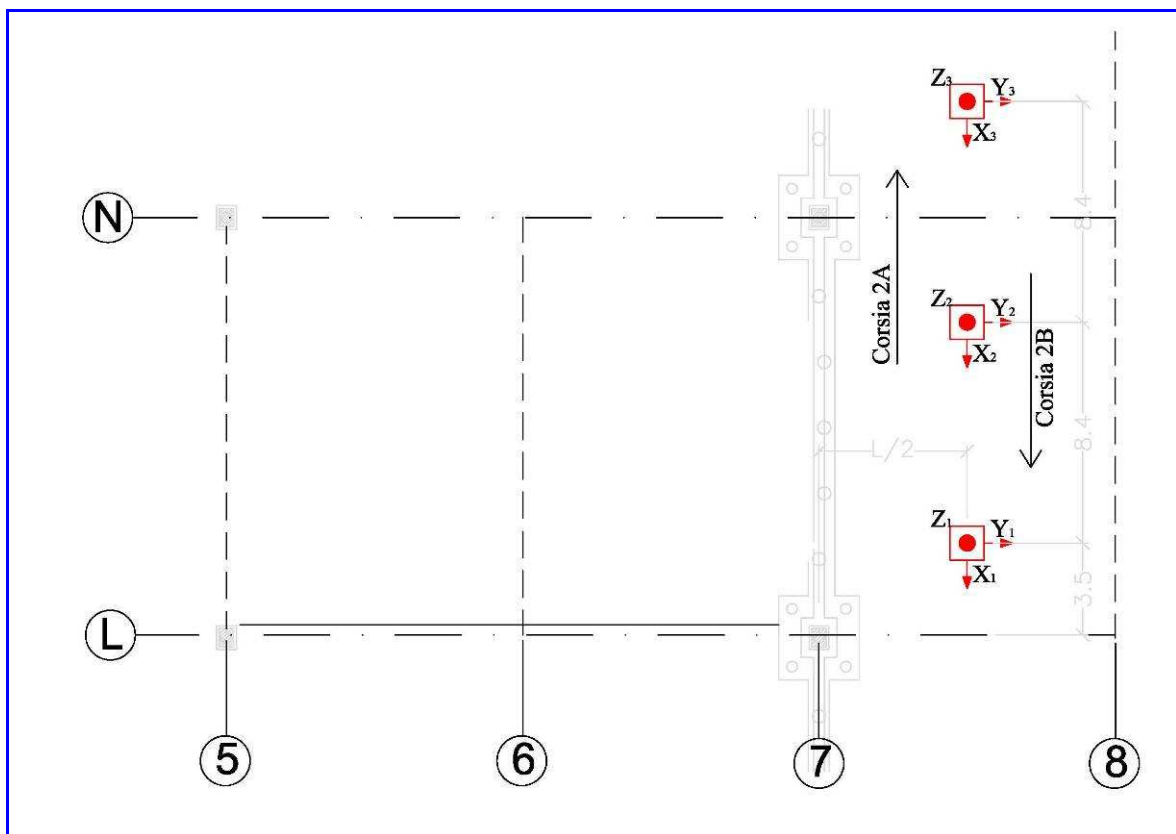
- 9 accelerometri piezoelettrici PCB M19A:
  - sensibilità:* 1V/g ;
  - campo:* ± 5g ;
  - risoluzione:* 2x10<sup>-5</sup> g ;
  - campo di frequenza:* 0,025-800 Hz;
- convertitore analogico-digitale Iotech (13 bit);
- computer Compaq.



*Terna accelerometrica*

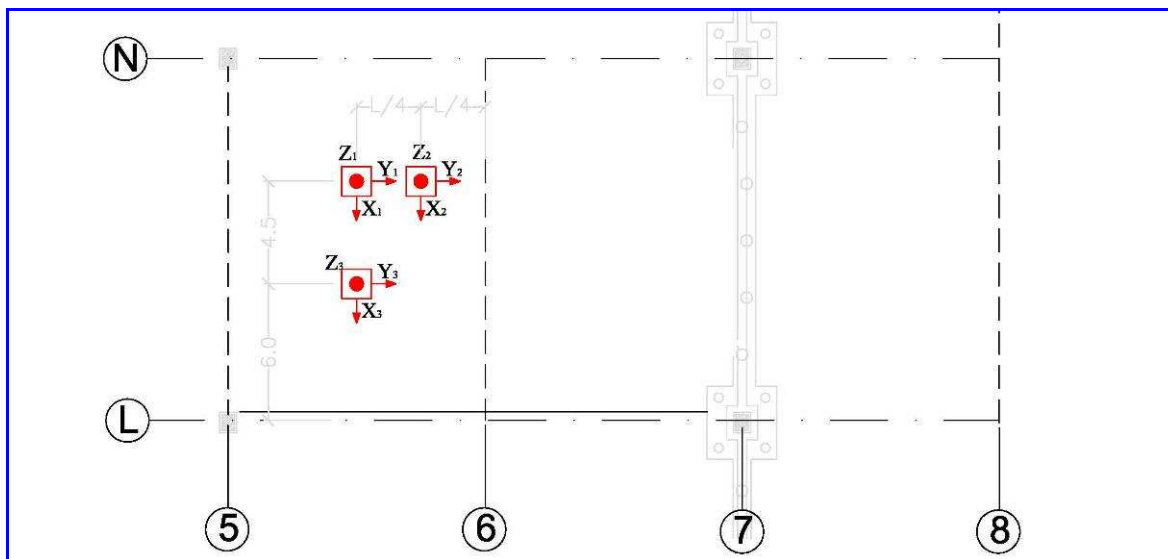
**4.2. Posizione dei sensori di misura**

I sensori di misura sono stati posti come negli schemi sotto riportati.



*Disposizione dei sensori nella prova 867/AA*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Disposizione dei sensori nella prova 868/AA*

#### 4.3. Acquisizione dei dati

Il segnale degli accelerometri è stato acquisito senza nessuna preventiva elaborazione a meno di un passa basso hardware di 2 kHz.

Lo scansionamento è stato di 1000 Hz.

I dati sono stati memorizzati sul disco rigido del nostro computer n. 224.

La temperatura ambiente durante le fasi di misura è stata di 22 °C, sempre in assenza di vento.



*Postazione d'acquisizione*

#### 4.4. Modalità di fissaggio

I sensori accelerometrici sono stati fissati su un cubo in alluminio, fissato su una piastra in acciaio con tre punti di appoggio regolabili, all'interno di un contenitore di protezione.



*Prima terna accelerometrica, prova 867/AA e terne nella prova 868/AA*



## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

### 4.5. Sorgente delle vibrazioni

E' stata utilizzata quale sorgente di vibrazione il passaggio dei commissionatori e dei retrattili.



*Passaggio dei commissionatori e dei retrattili, prova 867/AA*



*Passaggio commissionatore e retrattile, prova 868/AA*



*Passaggio commissionatore e retrattile, direzione ortogonale, prova 868/AA*



*Passaggio commissionatore longitudinalmente alle travi e ortogonalmente, prova 868/AA*

Nella tabella successiva sono associati ai file di acquisizione la tipologia degli impulsi applicati.

| Prova  | File | Tipologia impulso  |
|--------|------|--|
| 867/AA | 1    | Passaggio commissionatori e retrattili in corsia 2A      |
|        | 2    | Rumore di fondo  |
|        | 3    | Passaggio retrattile in corsia 2A e salti in mezzeria    |
|        | 4    | Rumore di fondo  |
|        | 5    | Commissionatore carico e retrattile scarico in corsia 2A |
|        | 6    | Commissionatori scarichi in corsia 2A                    |
|        | 7    | Retrattile scarico in corsia 2A                          |
|        | 8    | 2 commissionatori carichi in fila in corsia 2A           |
|        | 9    | 2 commissionatori carichi in fila in corsia 2B           |
|        | 10   | 2 commissionatori carichi appaiati in corsia 2A          |
|        | 11   | 2 commissionatori carichi appaiati in corsia 2B          |
|        | 12   | 2 commissionatori scarichi in fila in corsia 2A          |
|        | 13   | 2 commissionatori scarichi in fila in corsia 2B          |
|        | 14   | 2 commissionatori scarichi appaiati in corsia 2A         |
|        | 15   | 2 commissionatori scarichi appaiati in corsia 2B         |
|        | 16   | Retrattile carico in corsia 2A e 2B                      |
|        | 17   | Retrattile scarico in corsia 2A e 2B                     |

| Prova  | File | Tipologia impulso   |
|--------|------|---|
| 868/AA | 1    | Caratterizzazione del solaio  |
|        | 2    | Rumore di fondo   |
|        | 3    | Caratterizzazione del solaio  |
|        | 4    | Commissionatore scarico lungo asse longitudinale solaio monitorato      |
|        | 5    | Commissionatore scarico lungo asse ortogonale solaio monitorato         |
|        | 6    | Come file 4 con carico  |
|        | 7    | Come file 5 con carico  |
|        | 8    | Retrattile scarico lungo asse longitudinale solaio monitorato           |
|        | 9    | Retrattile scarico lungo asse ortogonale solaio monitorato              |
|        | 10   | Come file 8 con carico  |
|        | 11   | Come file 9 con carico  |
|        | 12   | Commissionatore scarico lungo asse longitud. solaio tra le righe P ed N |
|        | 13   | Come file 12 tra le righe di pilastri T ed R                            |
|        | 14   | Come file 12 tra le righe di pilastri V e T                             |
|        | 15   | Come file 12 tra le righe di pilastri Z e V                             |
|        | 16   | Commissionatore scarico in mezzeria solaio tra colonne 4 e 5            |
|        | 17   | Come file 16 tra le colonne dei pilastri 3 e 4                          |
|        | 18   | Come file 16 tra le colonne dei pilastri 6 e 7                          |

**4.6. Modalità di elaborazione**

Per le acquisizioni l’elaborazione è avvenuta utilizzando un software dedicato rispettoso delle indicazioni e delle formule riportate nelle norme UNI ISO 5348.

**4.7. Valutazione degli errori**

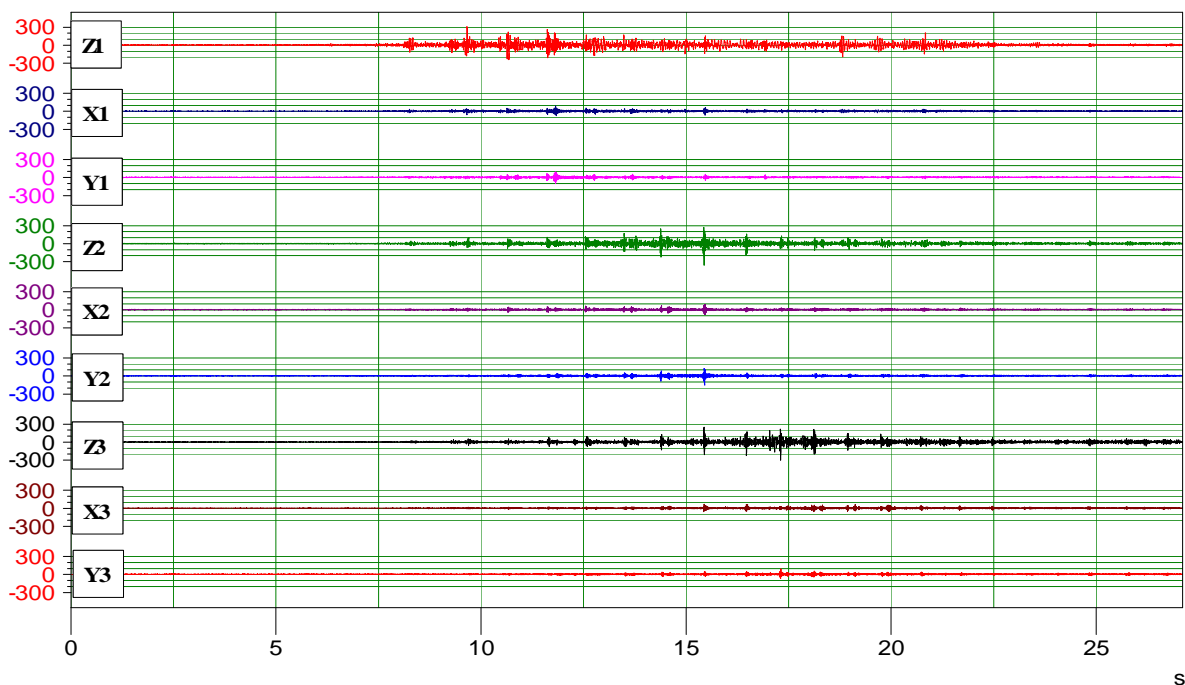
I sensori accelerometrici sono stati tarati in data 26 ottobre 2009, con una tolleranza sui segnali di  $6 \times 10^{-5}$  g e di 0,05 Hz.

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

### 4.8. Analisi dei risultati

#### 4.8.1. Prova 867/AA, solaio carico tra le colonne 7 ed 8

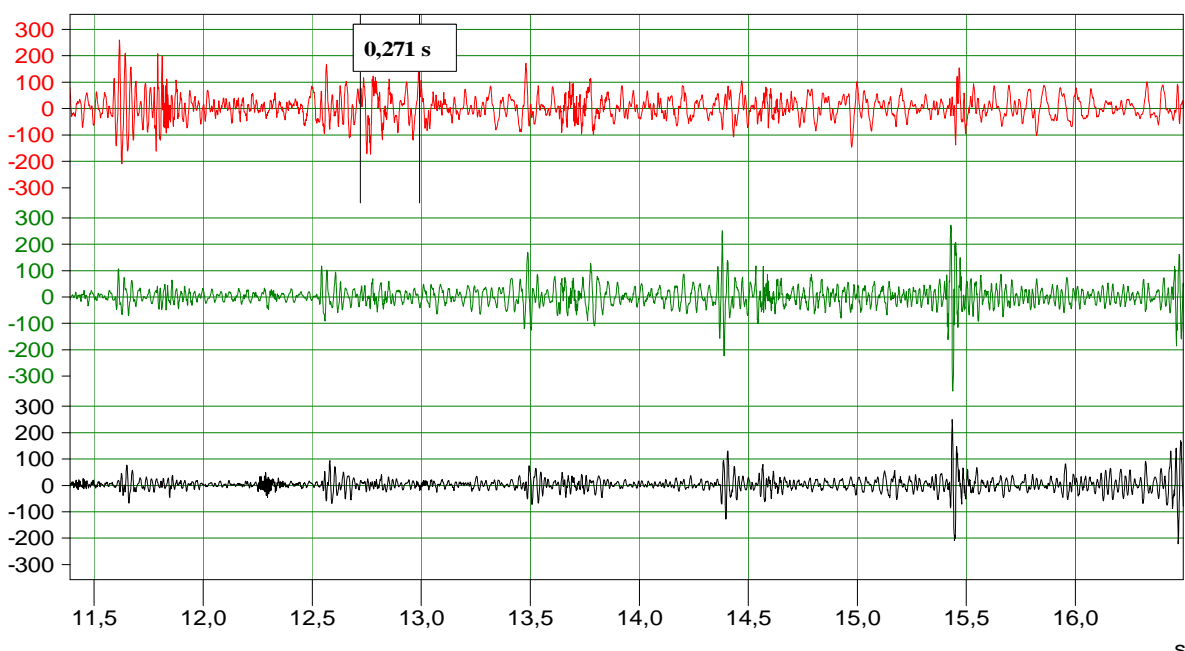
Di seguito si riporta un esempio esplicativo di un'elaborazione, dove si riporta l'oscillogramma dei 9 sensori nell'acquisizione 1.



Nell'oscillogramma seguente è evidenziata una finestra temporale del segnale acquisito per i segnali verticali.

Il sensore Z<sub>1</sub> rileva in un intervallo di 0,271 secondi 4 oscillazioni, cui corrisponde una frequenza portante pari a  $f = 4 / 0,271 = 14,8$  Hz.

L'ampiezza massima rilevata con questa frequenza risulta essere pari a **160 mm/s<sup>2</sup>**.



## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

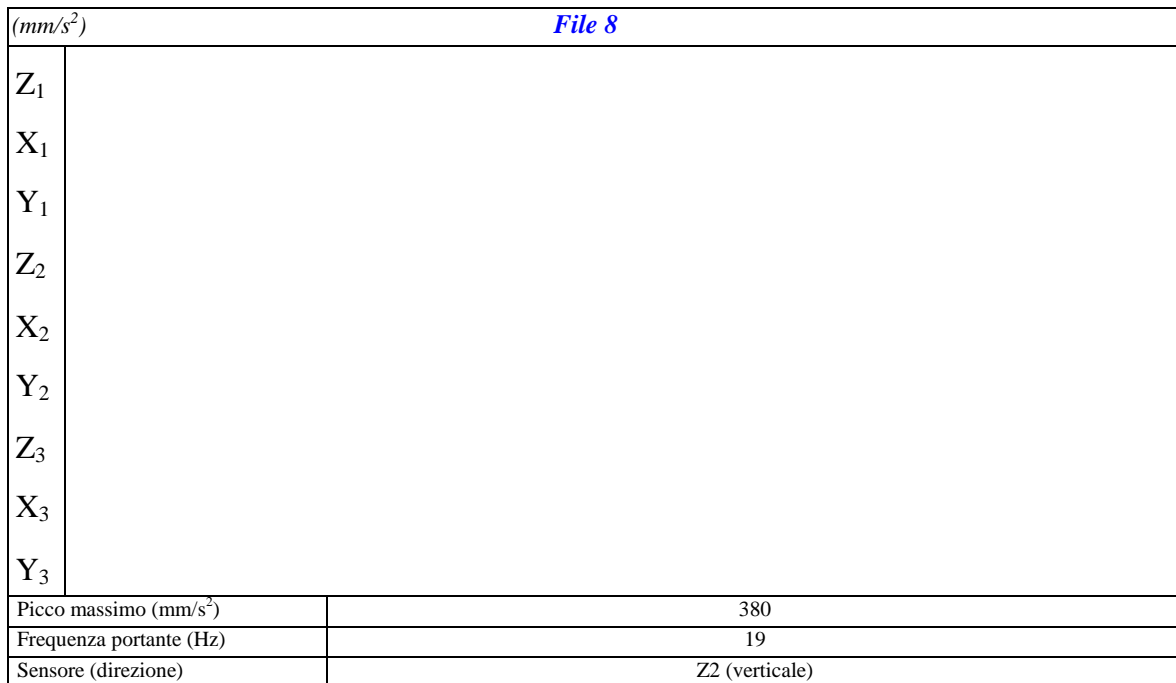
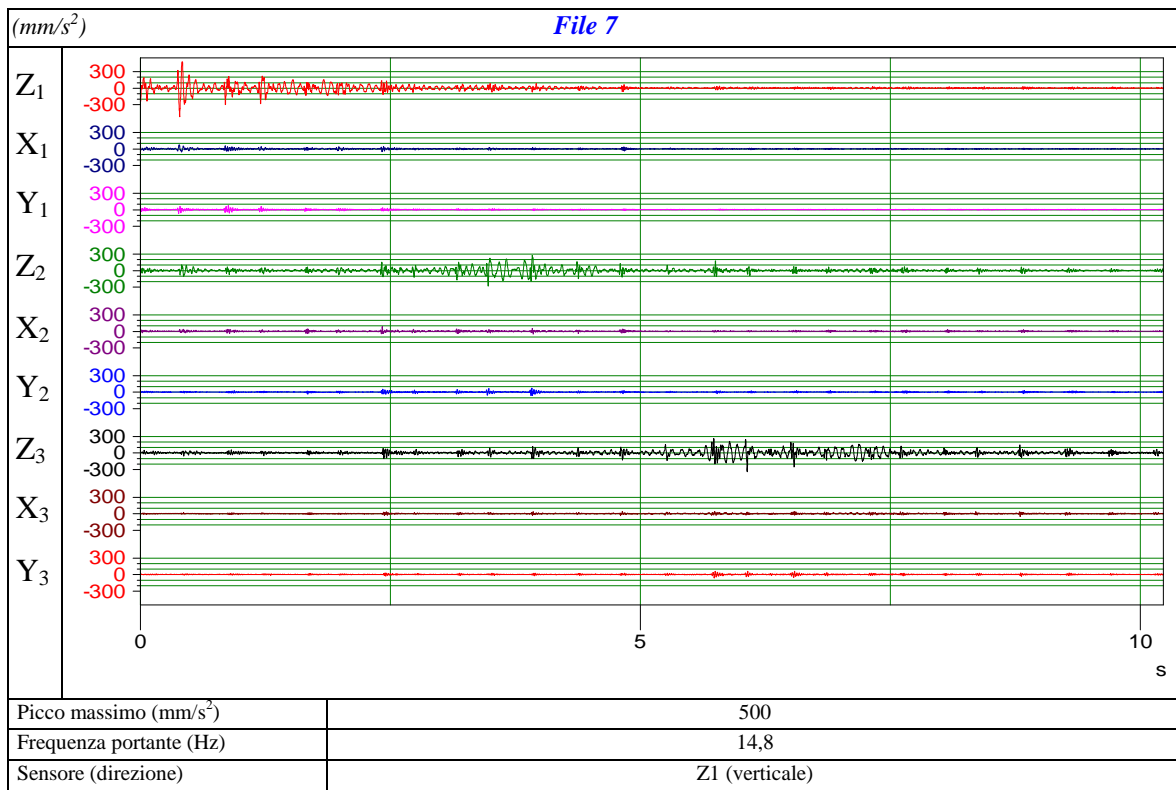


Dalla pagina seguente in poi si riportano tutte le acquisizioni. In ascissa il tempo è espresso in secondi ed in ordinata l'accelerazione è espressa in  $\text{mm/s}^2$ . Sono evidenziati i valori di picco dell'accelerazione riferiti alla frequenza portante calcolata con la trasformata di Fourier con blocchi da 8192 dati, ed il sensore che ha acquisito l'evento.

| $(\text{mm/s}^2)$                 |                | <i>File 1</i> |
|-----------------------------------|----------------|---------------|
| Z <sub>1</sub>                    |                |               |
| X <sub>1</sub>                    |                |               |
| Y <sub>1</sub>                    |                |               |
| Z <sub>2</sub>                    |                |               |
| X <sub>2</sub>                    |                |               |
| Y <sub>2</sub>                    |                |               |
| Z <sub>3</sub>                    |                |               |
| X <sub>3</sub>                    |                |               |
| Y <sub>3</sub>                    |                |               |
| Picco massimo ( $\text{mm/s}^2$ ) | 160            |               |
| Frequenza portante (Hz)           | 14,8           |               |
| Sensore (direzione)               | Z1 (verticale) |               |

| $(\text{mm/s}^2)$                 |                | <i>File 2</i> |
|-----------------------------------|----------------|---------------|
| Z <sub>1</sub>                    |                |               |
| X <sub>1</sub>                    |                |               |
| Y <sub>1</sub>                    |                |               |
| Z <sub>2</sub>                    |                |               |
| X <sub>2</sub>                    |                |               |
| Y <sub>2</sub>                    |                |               |
| Z <sub>3</sub>                    |                |               |
| X <sub>3</sub>                    |                |               |
| Y <sub>3</sub>                    |                |               |
| Picco massimo ( $\text{mm/s}^2$ ) | 35             |               |
| Frequenza portante (Hz)           | 20             |               |
| Sensore (direzione)               | Z1 (verticale) |               |

# CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

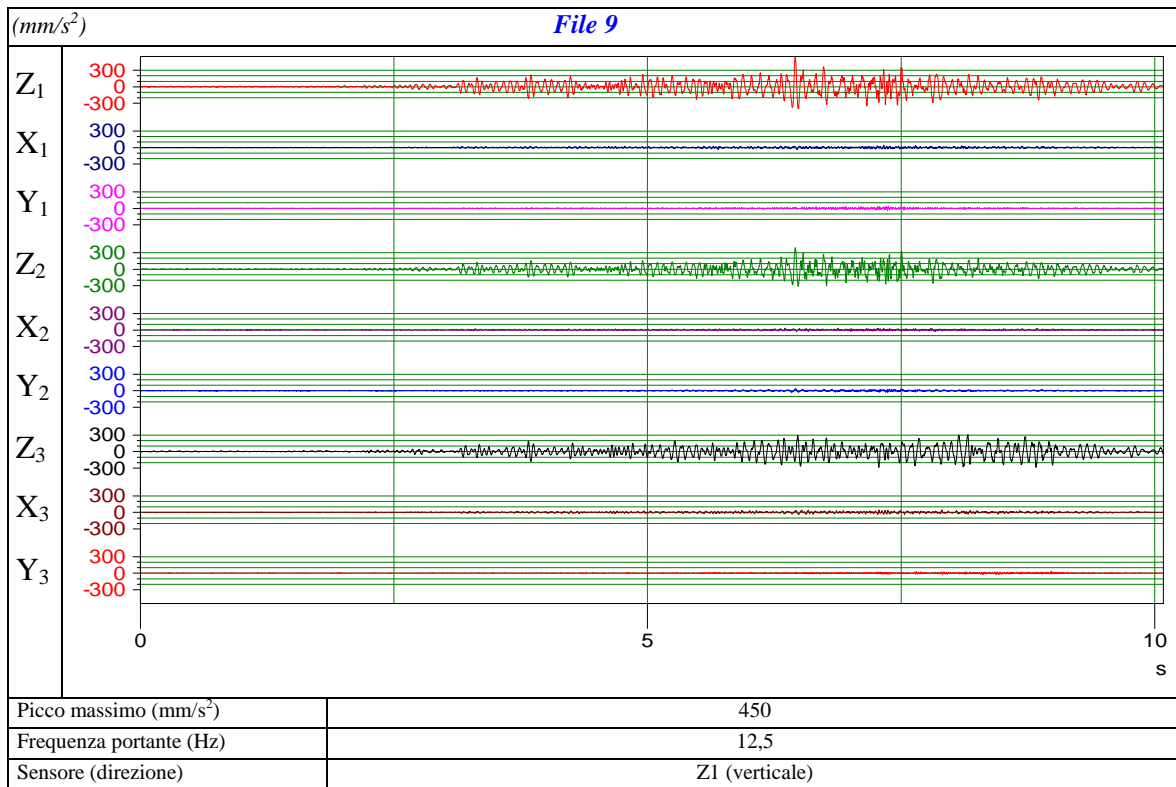
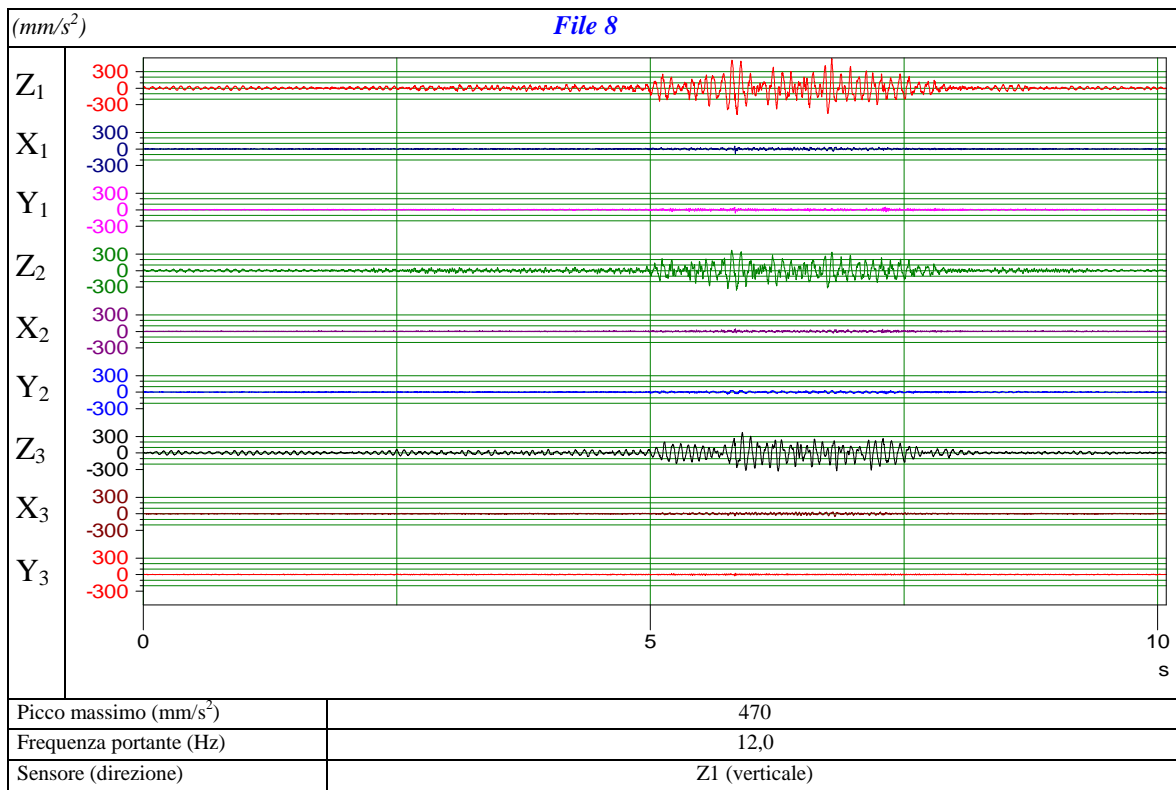


### Prova 868/AA, solaio libero da carichi tra le colonne 5 e 6

| <i>(mm/s<sup>2</sup>)</i>          |  | <i>File 2</i>  |
|------------------------------------|--|----------------|
| Z <sub>1</sub>                     |  |                |
| X <sub>1</sub>                     |  |                |
| Y <sub>1</sub>                     |  |                |
| Z <sub>2</sub>                     |  |                |
| X <sub>2</sub>                     |  |                |
| Y <sub>2</sub>                     |  |                |
| Z <sub>3</sub>                     |  |                |
| X <sub>3</sub>                     |  |                |
| Y <sub>3</sub>                     |  |                |
| Picco massimo (mm/s <sup>2</sup> ) |  | 20             |
| Frequenza portante (Hz)            |  | 11,8           |
| Sensore (direzione)                |  | Z1 (verticale) |

| <i>(mm/s<sup>2</sup>)</i>          |  | <i>File 4</i>  |
|------------------------------------|--|----------------|
| Z <sub>1</sub>                     |  |                |
| X <sub>1</sub>                     |  |                |
| Y <sub>1</sub>                     |  |                |
| Z <sub>2</sub>                     |  |                |
| X <sub>2</sub>                     |  |                |
| Y <sub>2</sub>                     |  |                |
| Z <sub>3</sub>                     |  |                |
| X <sub>3</sub>                     |  |                |
| Y <sub>3</sub>                     |  |                |
| Picco massimo (mm/s <sup>2</sup> ) |  | 230            |
| Frequenza portante (Hz)            |  | 18,8           |
| Sensore (direzione)                |  | Z1 (verticale) |

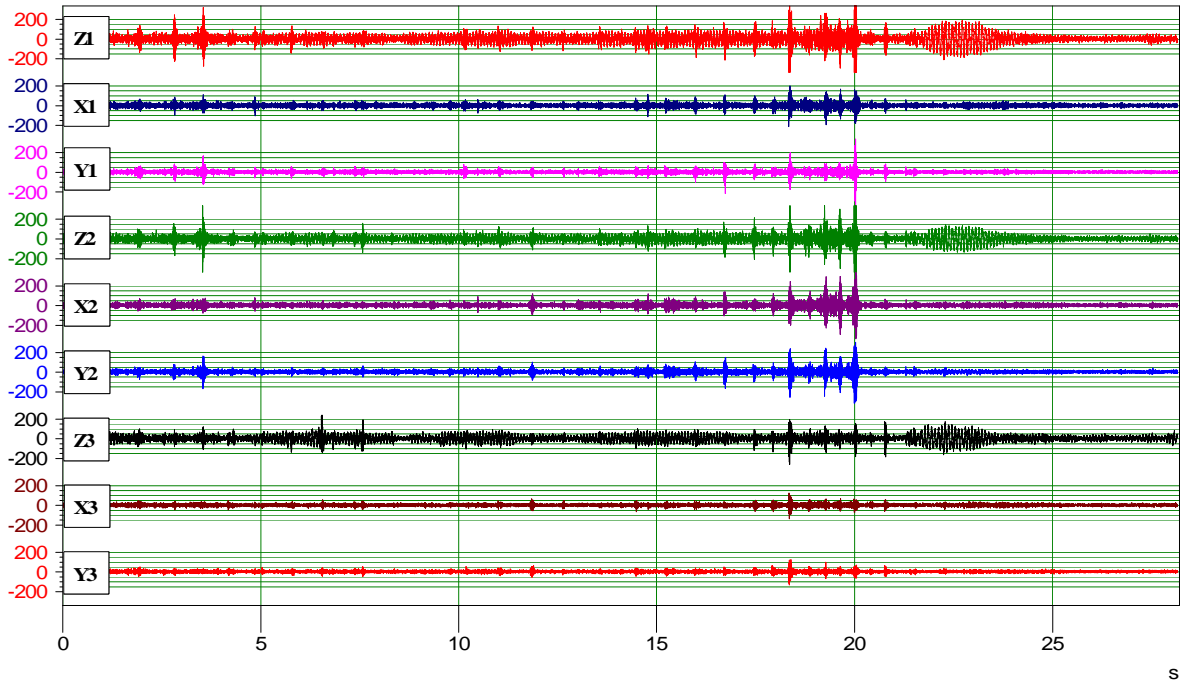
# CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO





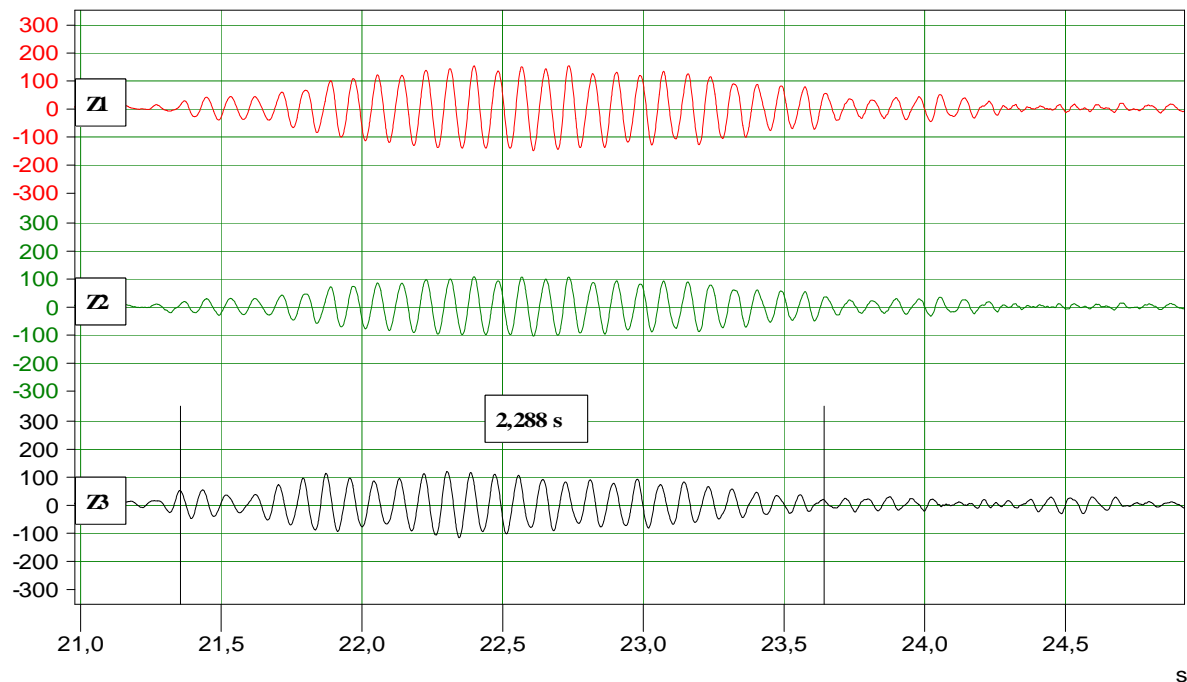
**4.8.2. Caratterizzazione dinamica solaio libero da carichi tra le colonne 5 e 6**

Nel primo grafico si riporta l'oscillogramma dei 9 sensori nell'acquisizione 1. In ascissa abbiamo il tempo in secondi ed in ordinata l'accelerazione espressa in mm/s<sup>2</sup>.



Nel grafico successivo, ottenuto dalla stessa acquisizione, è evidenziata una finestra temporale della coda del segnale acquisito in direzione verticale. I dati sono stati filtrati attraverso un passa basso tipo Butterworth di 20 Hz.

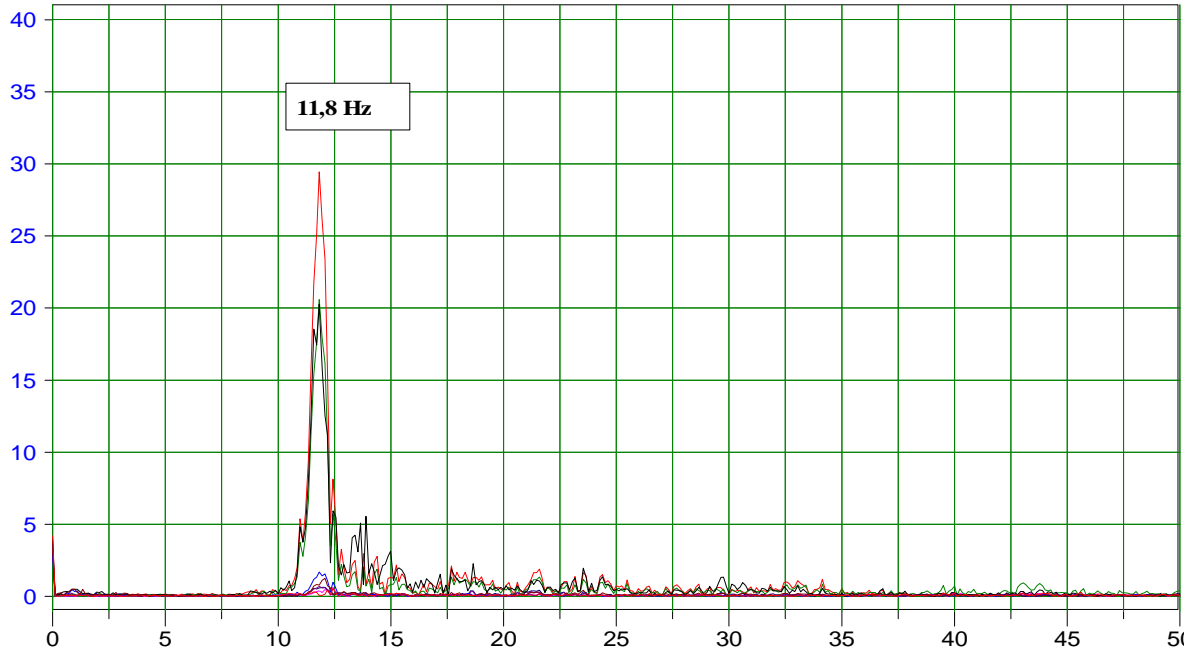
In direzione Z1 in fase con Z2 e Z3, si possono contare 27 oscillazioni in un intervallo di 2,288 secondi pari ad una frequenza  $f = 27 / 2,288 = 11,8 \text{ Hz}$ .



## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



L'elaborazione nel dominio delle frequenze della stessa acquisizione, ottenuta con la trasformata di Fourier, ci fornisce lo spettro sottostante, che conferma la frequenza rilevata nel dominio del tempo.



In conclusione la frequenza sperimentale ottenute è di **11,8 Hz** e rappresenta il primo modo flessionale verticale.

**4.9. Verifica dei limiti di norma**

La verifica viene eseguita secondo i parametri stabiliti dalla DIN 4150. La normativa prevede delle soglie limite per le velocità di vibrazione in funzione del tipo di struttura, a seconda che le vibrazioni siano di breve durata o permanenti.

Nel nostro caso, in favore della sicurezza, riteniamo le vibrazioni di tipo permanente.

**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             |
|        |   | Da 1 Hz fino a 10 Hz  | Da 10 Hz fino a 50 Hz   | Da 50 Hz fino a 100 Hz <sup>*)</sup>                           | Per tutte le frequenze |
| 1      | Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili                                   | 20  | Varia linearmente da 20 ( $f= 10$ Hz) fino a 40 ( $f= 50$ Hz) | Varia linearmente da 40 ( $f= 50$ Hz) fino a 50 ( $f= 100$ Hz) | 40                     |
| 2      | Edifici residenziali e costruzioni simili   | 5   | Varia linearmente da 5 ( $f= 10$ Hz) fino a 15 ( $f= 50$ Hz)  | Varia linearmente da 15 ( $f= 50$ Hz) fino a 20 ( $f= 100$ Hz) | 15                     |
| 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) fino a 8 ( $f= 50$ Hz)   | Varia linearmente da 8 ( $f= 50$ Hz) fino a 10 ( $f= 100$ Hz)  | 8                      |

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

*Estratto della norma UNI 9916*

**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   |

*Estratto della norma UNI 9916*

La tabella della pagina seguente riporta, per tutte le acquisizioni la sintesi dei risultati ottenuti.

La seconda e terza colonna identificano il file di acquisizione, le altre riportano nell'ordine:

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

- **ampiezza massima:** accelerazione massima registrata dal sensore [mm/s<sup>2</sup>];
- **frequenza portante** [Hz];
- **velocità:** dall'andamento sinusoidale viene calcolata la velocità:  

$$v = \frac{a}{\omega}$$
dove:  
v = velocità [mm/s]  
a = ampiezza dell'accelerazione [mm/s<sup>2</sup>]  
 $\omega$  = pulsazione pari a  $2 \cdot \pi \cdot f$  con  $f$  frequenza portante [Hz];

| Prova       | File | Tipologia impulso  | $a_{max}$<br>[mm/s <sup>2</sup> ] | $f$<br>[Hz] | velocità<br>[mm/s] |
|-------------|------|--|-----------------------------------|-------------|--------------------|
| 867 /<br>AA | 1    | Passaggio commissionatori e retrattili in corsia 2A      | 160                               | 14,2        | 1,79               |
|             | 2    | Rumore di fondo  | 35                                | 20,0        | 0,28               |
|             | 3    | Passaggio retrattile in corsia 2A e salti in mezzeria    | 250                               | 13,5        | 2,95               |
|             | 4    | Rumore di fondo  | 15                                | >100        |                    |
|             | 5    | Commissionatore carico e retrattile scarico in corsia 2A | 280                               | 24,1        | 1,85               |
|             | 6    | Commissionatori scarichi in corsia 2A                    | 300                               | 19,0        | 2,51               |
|             | 7    | <b>Retrattile scarico in corsia 2A</b>                   | <b>500</b>                        | <b>14,8</b> | <b>5,38</b>        |
|             | 8    | 2 commissionatori carichi in fila in corsia 2A           | 380                               | 19,0        | 3,18               |
|             | 9    | 2 commissionatori carichi in fila in corsia 2B           | 280                               | 21,6        | 2,06               |
|             | 10   | 2 commissionatori carichi appaiati in corsia 2A          | 300                               | 20,0        | 2,39               |
|             | 11   | 2 commissionatori carichi appaiati in corsia 2B          | 100                               | 20,0        | 0,80               |
|             | 12   | 2 commissionatori scarichi in fila in corsia 2A          | 300                               | 21,6        | 2,21               |
|             | 13   | 2 commissionatori scarichi in fila in corsia 2B          | 280                               | 21,6        | 2,06               |
|             | 14   | 2 commissionatori scarichi appaiati in corsia 2A         | 300                               | 20,0        | 2,39               |
|             | 15   | 2 commissionatori scarichi appaiati in corsia 2B         | 350                               | 20,0        | 2,79               |
|             | 16   | Retrattile carico in corsia 2A e 2B                      | 300                               | 12,0        | 3,98               |
|             | 17   | Retrattile scarico in corsia 2A e 2B                     | 190                               | 12,0        | 2,52               |

| Prova       | File   | Tipologia impulso   | $a_{max}$<br>[mm/s <sup>2</sup> ] | $f$<br>[Hz] | velocità<br>[mm/s] |
|-------------|--|---|-----------------------------------|-------------|--------------------|
| 868 /<br>AA | 2  | Rumore di fondo   | 20                                | 11,8        | 0,27               |
|             | 4  | Commissionatore scarico lungo asse longitudinale solaio monitorato      | 230                               | 18,8        | 1,95               |
|             | 5  | Commissionatore scarico lungo asse ortogonale solaio monitorato         | 230                               | 18,8        | 1,95               |
|             | 6  | Come file 4 con carico  | 170                               | 18,8        | 1,44               |
|             | 7  | Come file 5 con carico  | 200                               | 18,8        | 1,69               |
|             | <b>8</b>                                       | <b>Retrattile scarico lungo asse longitudinale solaio monitorato</b>    | <b>470</b>                        | <b>12</b>   | <b>6,24</b>        |
|             | 9  | Retrattile scarico lungo asse ortogonale solaio monitorato              | 450                               | 12,5        | 5,73               |
|             | 10   | Come file 8 con carico  | 400                               | 12          | 5,31               |
|             | 11   | Come file 9 con carico  | 390                               | 12,5        | 4,97               |
|             | 12   | Commissionatore scarico lungo asse longitud. solaio tra le righe P ed N | 140                               | 20          | 1,11               |
|             | 13   | Come file 12 tra le righe di pilastri T ed R                            | 90                                | 11,8        | 1,21               |
|             | 14   | Come file 12 tra le righe di pilastri V e T                             | 20                                | 11,8        | 0,27               |
|             | 15   | Come file 12 tra le righe di pilastri Z e V                             | 20                                | 11,8        | 0,27               |
|             | 16   | Commissionatore scarico in mezzeria solaio tra colonne 4 e 5            | 50                                | 12,5        | 0,64               |
|             | 17   | Come file 16 tra le colonne dei pilastri 3 e 4                          | 50                                | 12,5        | 0,64               |
| 18          | Come file 16 tra le colonne dei pilastri 6 e 7 | 50  | 12,5                              | 0,64        |                    |

Nel nostro caso i valori di ampiezza maggiori in funzione della frequenza che danno gli effetti più significativi sono quelli riferiti al file 7 nella prova 867/AA e l'8 nella 868/AA, con valori di velocità di 5,38 mm/s e 6,24 mm/s, inferiore al limite minimo previsto, che è pari a 10 mm/s.

**In sintesi si può affermare che dalle rilevazioni effettuate gli effetti delle vibrazioni sulle strutture sono trascurabili e non si individuano situazioni di pericolosità.**

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

### 5. PROVE DI CARICO STATICHE E STATICHE - DINAMICHE

Sono state eseguite 4 prove di carico sul solaio di riferimento, come riportato di seguito:

- prova 871/AA: solaio libero da carichi, retrattili in direzione asse longitudinale solaio;
- prova 872/AA: solaio con bancali e retrattili in direzione asse longitudinale solaio;
- prova 873/AA: solaio libero da carichi, retrattili in direzione trasversale solaio;
- prova 874/AA: solaio con bancali e retrattili in direzione trasversale solaio;

Successivamente ad ogni prova di carico è stata eseguita una prova di carico statica – dinamica per poter analizzare la differenza di abbassamento da attribuire al coefficiente di amplificazione dei carichi.

#### 5.1. Descrizione della strumentazione

##### Collaudatore GS05 ed DACQ IoTech

La rilevazione delle deformazioni statiche è stata effettuata con l'attrezzatura denominata GS05 costituita da:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni GS05 mat. n° 004;
- trasduttori di spostamento di tipo LVDT modello Schaevitz E 200, E500 e E1000;
- software di elaborazione 4 EMME Service S.p.A.

Per le misure statiche dinamiche con l'attrezzatura costituita da:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni DACQ IoTech;
- trasduttori potenziometrici modello Midori LP-50 da 5 K $\Omega$  ;
- software di elaborazione DasyLab.

##### Trasduttori di spostamento

I trasduttori di spostamento sono stati posti direttamente a contatto con l'intradosso del solaio attraverso apposite aste telescopiche. La catena di misura, sensore–cavo–unità, comporta un errore massimo pari a  $\pm 1\%$ . I sensori impiegati hanno una sensibilità di  $\pm 0,002$  mm ed una linearità del 99,6%.



*Collaudatore GS05*



*Sensori di spostamento*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

La calibrazione è stata effettuata in data 14 Settembre 2010 e documentata col Certificato di Taratura n° 719/10.

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.

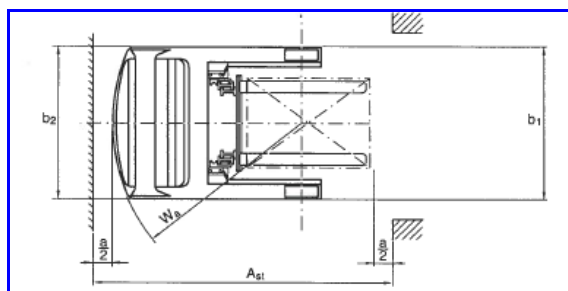
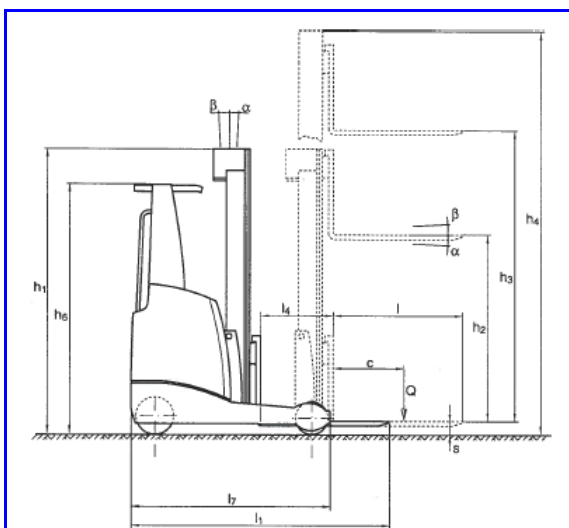
### 5.2. Ubicazione delle prove

Le prove di carico sono state eseguite su una porzione di solaio del capannone della zona di stoccaggio delle acque adiacente il muro di confine con il Settore 4, come riportato nella figura sottostante.

#### *Planimetria generale*

### 5.3. Applicazione del carico

La sollecitazione della struttura è stata ottenuta tramite un retrattile modello ETM/V 216 del peso di 42,5 kN. Il retrattile è stato poi caricato con bancali del peso di 10,0 kN/cad per aumentare il carico complessivo fino ad un massimo di 62,5 kN.



Distanza assi: 1,50 m  
 Larghezza asse posteriore: 1,15 m  
 Peso carrello: 30,70 kN  
 Peso batteria: 11,81 kN

**5.4. Descrizione delle prove**

**5.4.1. Prove di carico**

Le prove sono state eseguite il giorno 19 Settembre 2010 sul solaio del magazzino, realizzato con travi a doppio T e soletta in c.a., con due diverse disposizioni del carico.

Posizione 1: carico in direzione parallela all'orditura del solaio;

Posizione 2: carico in direzione ortogonale all'orditura del solaio.

La sollecitazione della struttura è stata realizzata secondo le condizioni seguenti:

*Fase A – solaio scarico con:*

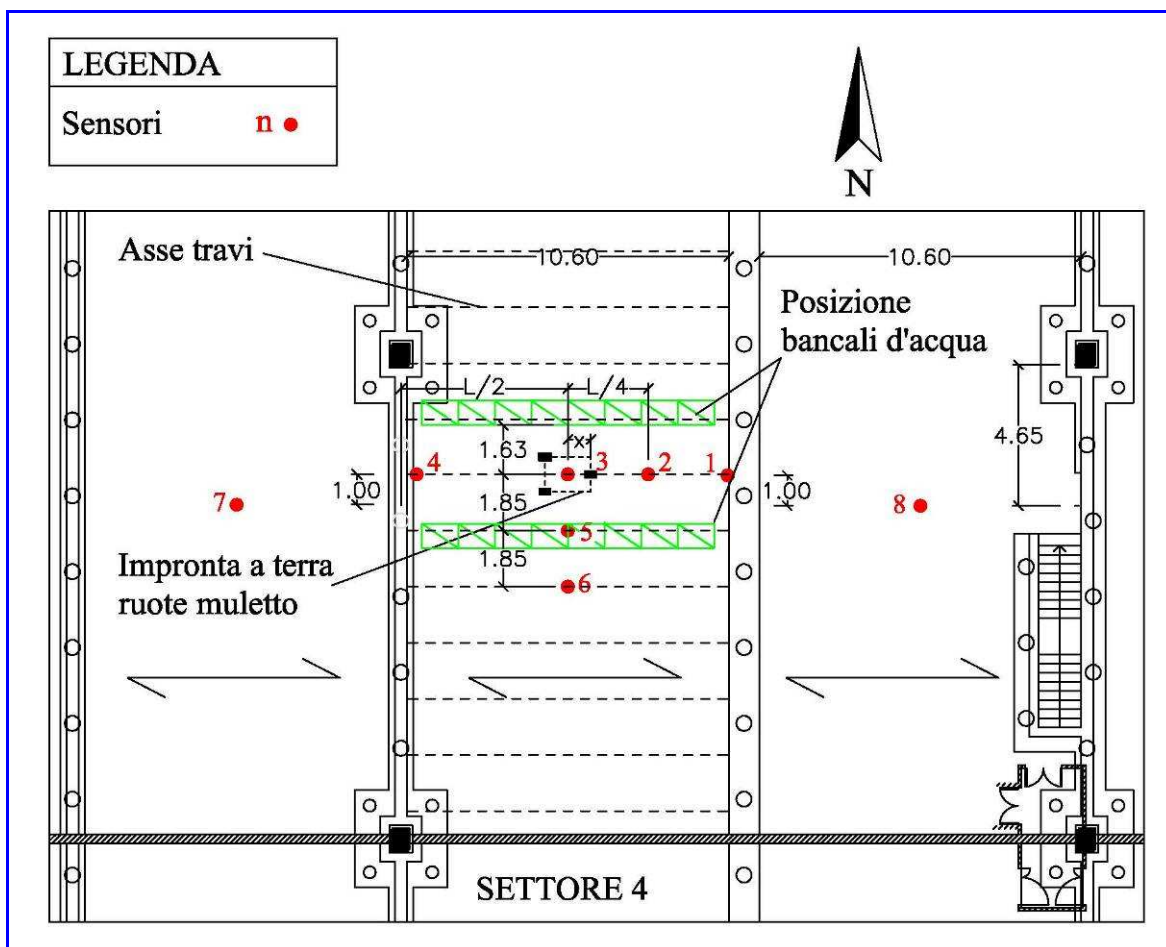
- C1: retrattile n° 1 in mezzeria solaio = **42,5 kN;**
- C2: retrattile n° 2 con 1 bancale di 10,0 kN in mezzeria del solaio = **52,5 kN;**
- C3: retrattile n° 3 con 2 bancali di 10,0 kN/cad. in mezzeria del solaio = **62,5 kN;**

*Fase B – solaio con 8 + 8 bancali d'acqua (pari a 7,8 kN l'uno) con:*

- C1: retrattile n° 1 in mezzeria solaio = **42,5 kN;**
- C2: retrattile n° 2 con 1 bancale di 10,0 kN in mezzeria del solaio = **52,5 kN;**
- C3: retrattile n° 3 con 2 bancali di 10,0 kN/cad. in mezzeria del solaio = **62,5 kN.**

Per massimizzare la freccia del solaio il retrattile è stato posizionato:

- se scarico, con la ruota anteriore ad una distanza  $x = 0,75$  m dal sensore centrale;
- se carico, con la ruota anteriore ad una distanza  $x = 1,35$  m dal sensore centrale.



*Posizione 1: disposizione carico fase A, B e sensori*





*Disposizione sensori all'intradosso del solaio*



*Posizione 1 fase A: condizione C1*



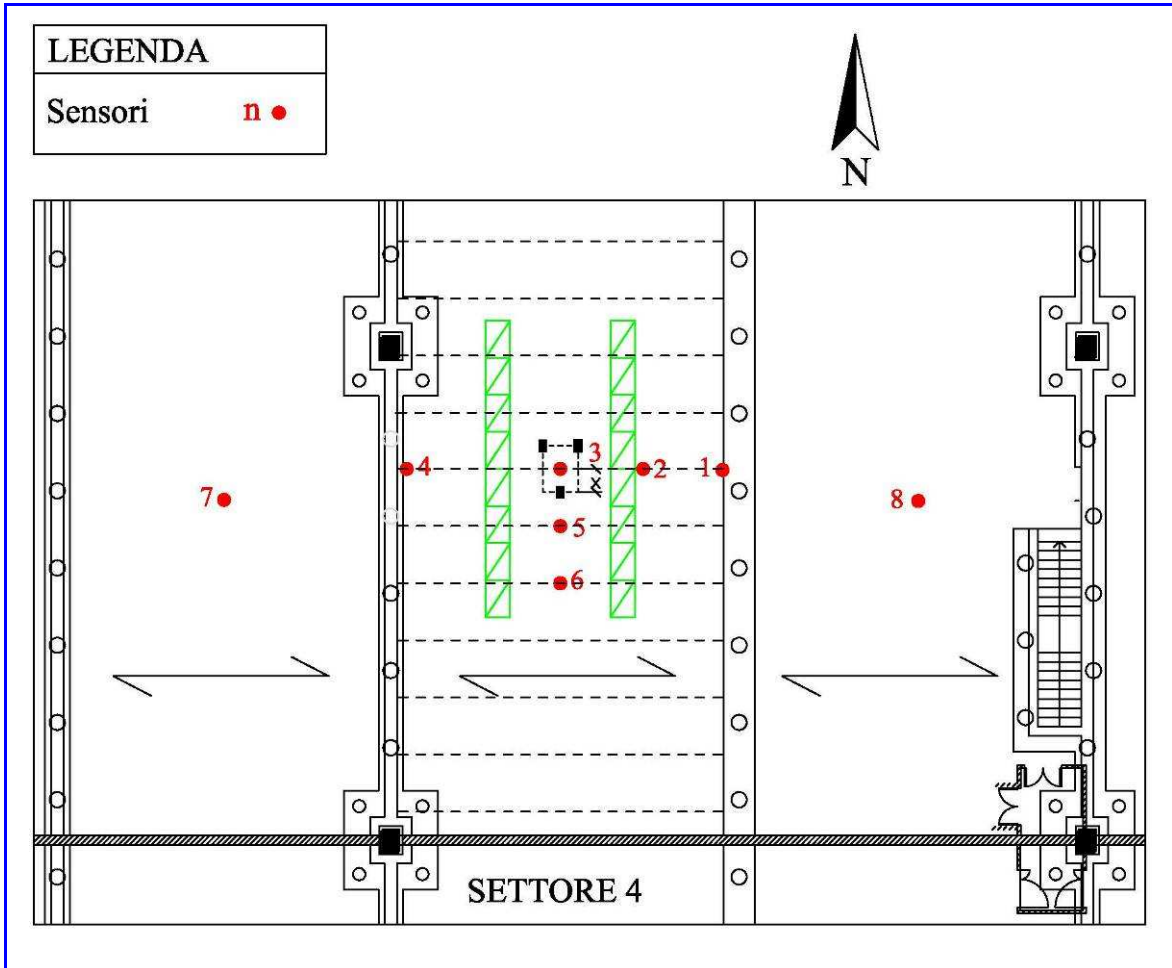
*Posizione 1 fase A: condizione C2*

*Posizione 1 fase A: condizione C3*

*Posizione 1 fase B: condizione C1*

Posizione 1 fase B: condizione C2

Posizione 1 fase B: condizione C3



Posizione 2: disposizione carico fase A e B e sensori



Posizione 2 fase A: condizione C1



Posizione 2 fase A: condizione C2

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Posizione 2 fase A: condizione C3*

*Posizione 2 fase B: condizione C1*

*Posizione 2 fase B: condizione C2*

*Posizione 2 fase B: condizione C3*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

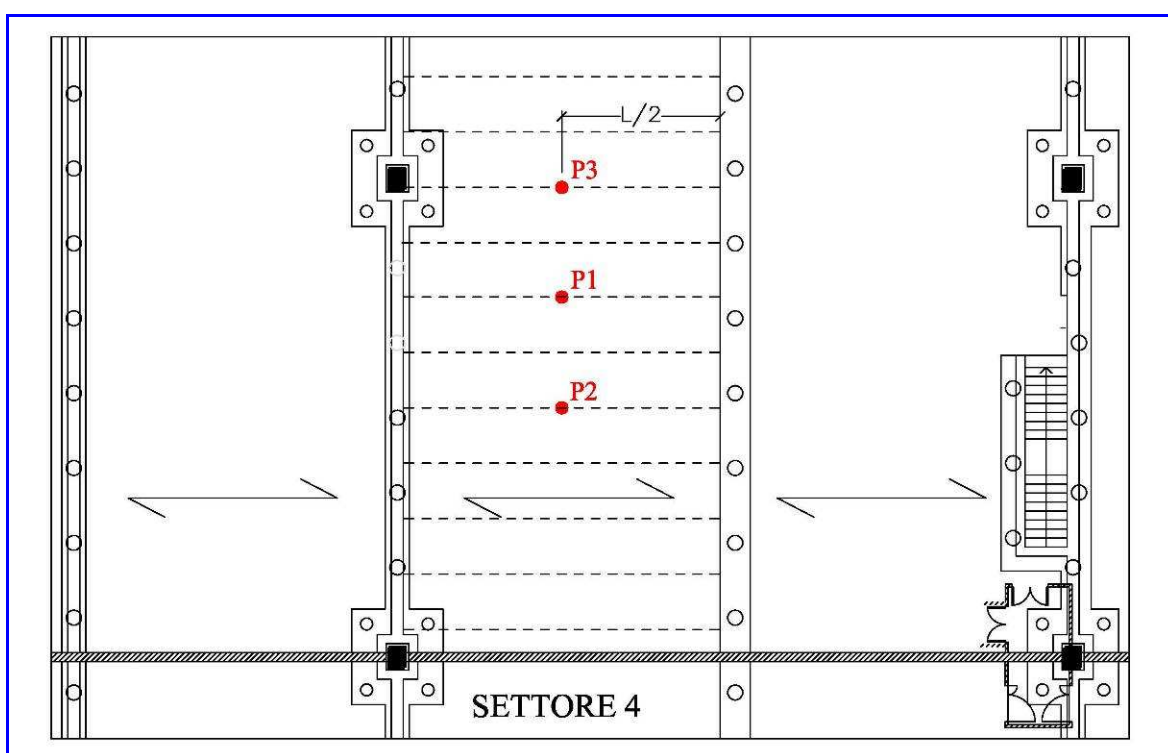
### 5.4.2. Prove di carico statiche - dinamiche

A seguito di ogni prova di carico è stata eseguita quella statica-dinamica.

La prova prevede l'utilizzo del retrattile in movimento ed è stata eseguita per poter analizzare la differenza di abbassamento da attribuire al coefficiente di amplificazione dei carichi.

Per ogni posizione e fase sono stati fatti transitare i retrattili n° 1, 2 e 3 a differenti velocità, misurate attraverso apposita strumentazione. In corrispondenza di ogni passaggio è stata attivata l'acquisizione registrando i dati provenienti dai trasduttori con un campionamento di 200 Hz.

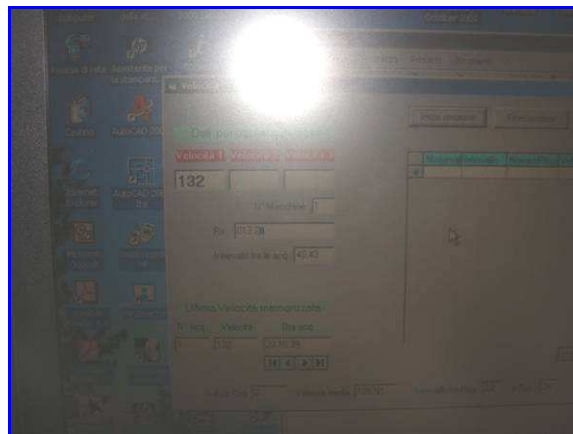
Di seguito si riporta la posizione dei sensori di misura potenziometrici. Il sensore P1 è nella stessa posizione del Ch3 della prova di carico.



*Posizione dei sensori potenziometrici*



*Postazione d'acquisizione velocità*



*Visualizzazione velocità in km/h*

5.5. Risultati

5.5.1. Prove di carico

Nelle tabelle che seguono sono riportati i valori delle frecce ottenute nelle diverse condizioni di carico.

Tabella 2: Posizione 1, fase A – Prova n° 871/AA

| Condizione di carico | DEFORMAZIONI<br>[mm] |      |             |      |      |      |      |      | Ora  |
|----------------------|----------------------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
|                      | Ch 1                 | Ch 2 | Ch 3        | Ch 4 | Ch 5 | Ch 6 | Ch 7 | Ch 8 |      |
| <i>C1</i>            | 0,05                 | 0,29 | <b>0,39</b> | 0,05 | 0,21 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 9.35 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9.36 |
| <i>C1</i>            | 0,05                 | 0,29 | <b>0,39</b> | 0,05 | 0,22 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 9.37 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9.38 |
| <i>C2</i>            | 0,07                 | 0,37 | <b>0,46</b> | 0,06 | 0,26 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 9.38 |
| <i>Scarico</i>       | 0,01                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9.39 |
| <i>C2</i>            | 0,07                 | 0,38 | <b>0,46</b> | 0,06 | 0,26 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 9.40 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,01 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9.41 |
| <i>C3</i>            | 0,08                 | 0,44 | <b>0,57</b> | 0,07 | 0,33 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 9.41 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 9.42 |
| <i>C3</i>            | 0,08                 | 0,45 | <b>0,57</b> | 0,07 | 0,32 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 9.43 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,01 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9.44 |

Tabella 3: Posizione 1, fase B – Prova n° 872/AA

| Condizione di carico | DEFORMAZIONI<br>[mm] |      |             |      |      |      |      |      | Ora   |
|----------------------|----------------------|------|-------------|------|------|------|------|------|-------|
|                      | Ch 1                 | Ch 2 | Ch 3        | Ch 4 | Ch 5 | Ch 6 | Ch 7 | Ch 8 |       |
| <i>16 bancali</i>    | 0,06                 | 0,33 | <b>0,44</b> | 0,06 | 0,37 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 10.06 |
| <i>C1</i>            | 0,05                 | 0,29 | <b>0,38</b> | 0,05 | 0,21 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 10.08 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.09 |
| <i>C1</i>            | 0,05                 | 0,29 | <b>0,38</b> | 0,05 | 0,21 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 10.09 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,01 | <b>0,01</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.11 |
| <i>C2</i>            | 0,06                 | 0,37 | <b>0,46</b> | 0,05 | 0,26 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 10.12 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.13 |
| <i>C2</i>            | 0,07                 | 0,37 | <b>0,46</b> | 0,05 | 0,27 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 10.13 |
| <i>Scarico</i>       | 0,01                 | 0,00 | <b>0,01</b> | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.15 |
| <i>C3</i>            | 0,08                 | 0,44 | <b>0,57</b> | 0,07 | 0,32 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 10.15 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.16 |
| <i>C3</i>            | 0,08                 | 0,44 | <b>0,57</b> | 0,07 | 0,32 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 10.17 |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,01 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 10.18 |

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



Tabella 4: Posizione 2, fase A – Prova n° 873/AA

| Condizione di carico | DEFORMAZIONI<br>[mm] |      |             |      |      |      |      |      | Data Ora |
|----------------------|----------------------|------|-------------|------|------|------|------|------|----------|
|                      | Ch 1                 | Ch 2 | Ch 3        | Ch 4 | Ch 5 | Ch 6 | Ch 7 | Ch 8 |          |
| <i>C1</i>            | 0,04                 | 0,28 | <b>0,36</b> | 0,04 | 0,21 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 10.43    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,01</b> | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 10.44    |
| <i>C1</i>            | 0,04                 | 0,28 | <b>0,35</b> | 0,04 | 0,22 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 10.44    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.45    |
| <i>C2</i>            | 0,06                 | 0,35 | <b>0,45</b> | 0,06 | 0,30 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 10.45    |
| <i>Scarico</i>       | 0,01                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.46    |
| <i>C2</i>            | 0,05                 | 0,35 | <b>0,45</b> | 0,06 | 0,31 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 10.47    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 10.48    |
| <i>C3</i>            | 0,07                 | 0,42 | <b>0,55</b> | 0,07 | 0,35 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 10.48    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 10.49    |
| <i>C3</i>            | 0,07                 | 0,42 | <b>0,55</b> | 0,07 | 0,36 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 10.49    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10.51    |

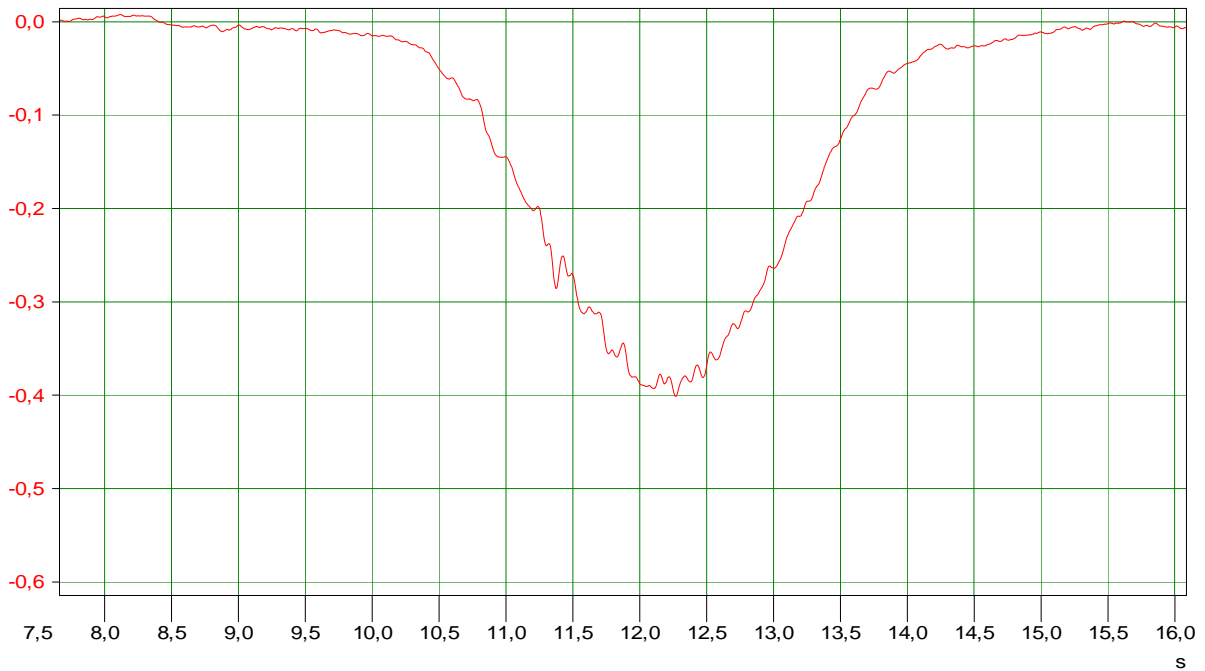
Tabella 5: Posizione 2, fase B – Prova n° 874/AA

| Condizione di carico | DEFORMAZIONI<br>[mm] |      |             |      |      |      |      |      | Data Ora |
|----------------------|----------------------|------|-------------|------|------|------|------|------|----------|
|                      | Ch 1                 | Ch 2 | Ch 3        | Ch 4 | Ch 5 | Ch 6 | Ch 7 | Ch 8 |          |
| <i>16 bancali</i>    | 0,05                 | 0,32 | <b>0,44</b> | 0,05 | 0,38 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 11.06    |
| <i>C1</i>            | 0,05                 | 0,28 | <b>0,36</b> | 0,04 | 0,22 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 11.08    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11.09    |
| <i>C1</i>            | 0,05                 | 0,28 | <b>0,36</b> | 0,04 | 0,22 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 11.10    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11.10    |
| <i>C2</i>            | 0,06                 | 0,35 | <b>0,46</b> | 0,05 | 0,33 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 11.10    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11.11    |
| <i>C2</i>            | 0,06                 | 0,35 | <b>0,46</b> | 0,05 | 0,34 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 11.12    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11.13    |
| <i>C3</i>            | 0,08                 | 0,43 | <b>0,55</b> | 0,07 | 0,37 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 11.13    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,00</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11.14    |
| <i>C3</i>            | 0,08                 | 0,43 | <b>0,56</b> | 0,07 | 0,37 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 11.14    |
| <i>Scarico</i>       | 0,00                 | 0,00 | <b>0,01</b> | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 11.16    |

**5.5.2. Prove di carico statiche - dinamiche**

Nei grafici seguenti sono riportati gli abbassamenti in mezzeria (sensore P1) dovuti al passaggio dei retrattili in velocità. Al termine è riportata una tabella riassuntiva dei risultati con l'indicazione del coefficiente di amplificazione dei carichi calcolato tra gli abbassamenti statici e dinamici in mezzeria del solaio.

***POSIZIONE 1***



*Posizione 1, fase A, retrattile n° 1, velocità 12,3 km/h, s = 0,41 mm*

*Posizione 1, fase A, retrattile n° 2, velocità 12,3 km/h, s = 0,50 mm*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Posizione 1, fase A, retrattile n° 3, velocità 12,2 km/h, s = 0,61 mm*

*Posizione 1, fase B, retrattile n° 1, velocità 12,7 km/h, s = 0,40 mm*



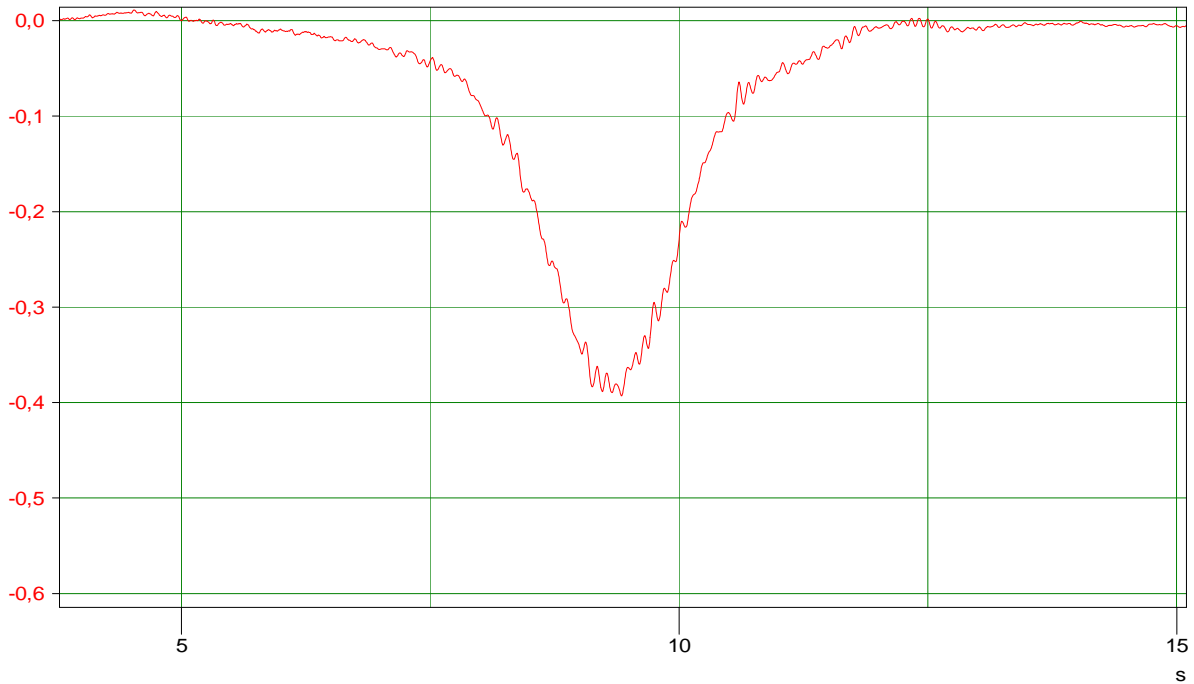
## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Posizione 1, fase B, retrattile n° 2, velocità 12,9 km/h, s = 0,48 mm*

*Posizione 1, fase B, retrattile n° 3, velocità 12,7 km/h, s = 0,60 mm*

**POSIZIONE 2**



*Posizione 2, fase A, retrattile n° 1, velocità 12,3 km/h, s = 0,38 mm*

*Posizione 2, fase A, retrattile n° 2, velocità 12,3 km/h, s = 0,48 mm*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Posizione 2, fase A, retrattile n° 3, velocità 12,2 km/h, s = 0,59 mm*

*Posizione 2, fase B, retrattile n° 1, velocità 12,8 km/h, s = 0,38 mm*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Posizione 2, fase B, retrattile n° 2, velocità 12,6 km/h, s = 0,48 mm*

*Posizione 2, fase B, retrattile n° 3, velocità 12,5 km/h, s = 0,59 mm*

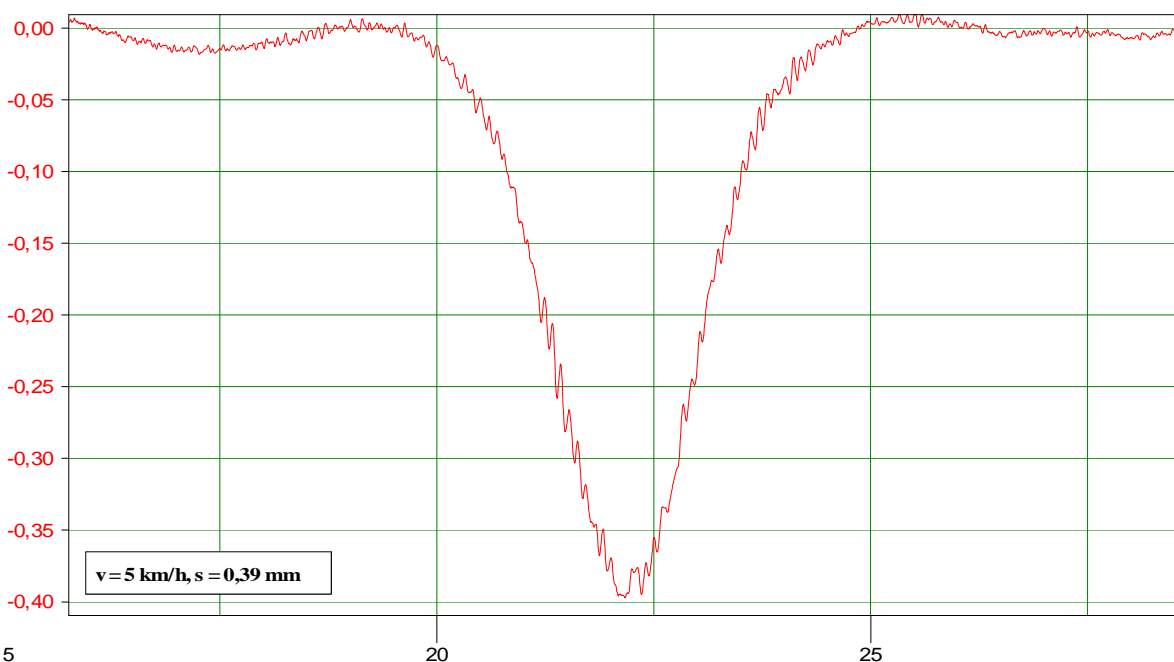
## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei risultati.

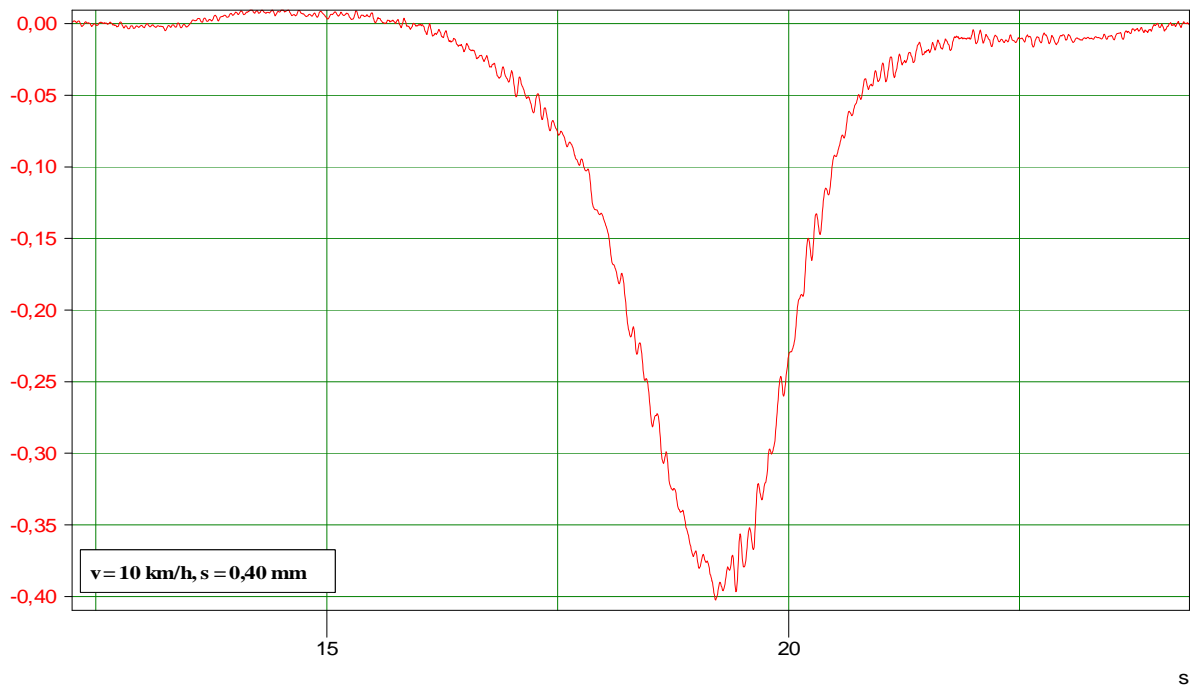
Tabella 6: coefficienti di amplificazione dei carichi

| Condizione di carico | N° retrattile | Velocità [km/h] | Abbassamenti [mm] |               | Coefficiente di amplificazione dei carichi |
|----------------------|---------------|-----------------|-------------------|---------------|--|
|                      |               |                 | Statici (Ch3)     | Dinamici (P1) |  |
| Posizione 1, fase A  | 1             | 12,3            | 0,39              | 0,41          | 1,05                                       |
|                      | 2             | 12,3            | 0,46              | 0,50          | 1,08                                       |
|                      | 3             | 12,2            | 0,57              | 0,61          | 1,07                                       |
| Posizione 1, fase B  | 1             | 12,7            | 0,38              | 0,40          | 1,05                                       |
|                      | 2             | 12,9            | 0,46              | 0,48          | 1,04                                       |
|                      | 3             | 12,7            | 0,57              | 0,60          | 1,05                                       |
| Posizione 2, fase A  | 1             | 12,3            | 0,35              | 0,38          | 1,08                                       |
|                      | 2             | 12,3            | 0,45              | 0,48          | 1,07                                       |
|                      | 3             | 12,2            | 0,55              | 0,59          | 1,07                                       |
| Posizione 2, fase B  | 1             | 12,8            | 0,36              | 0,38          | 1,06                                       |
|                      | 2             | 12,6            | 0,46              | 0,48          | 1,04                                       |
|                      | 3             | 12,5            | 0,56              | 0,59          | 1,05                                       |

E' stata eseguita una prova facendo transitare un retrattile scarico nella direzione dell'asse delle travi alla velocità crescente di 5 e 10 km/h, di seguito se ne riportano i grafici significativi.



# CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

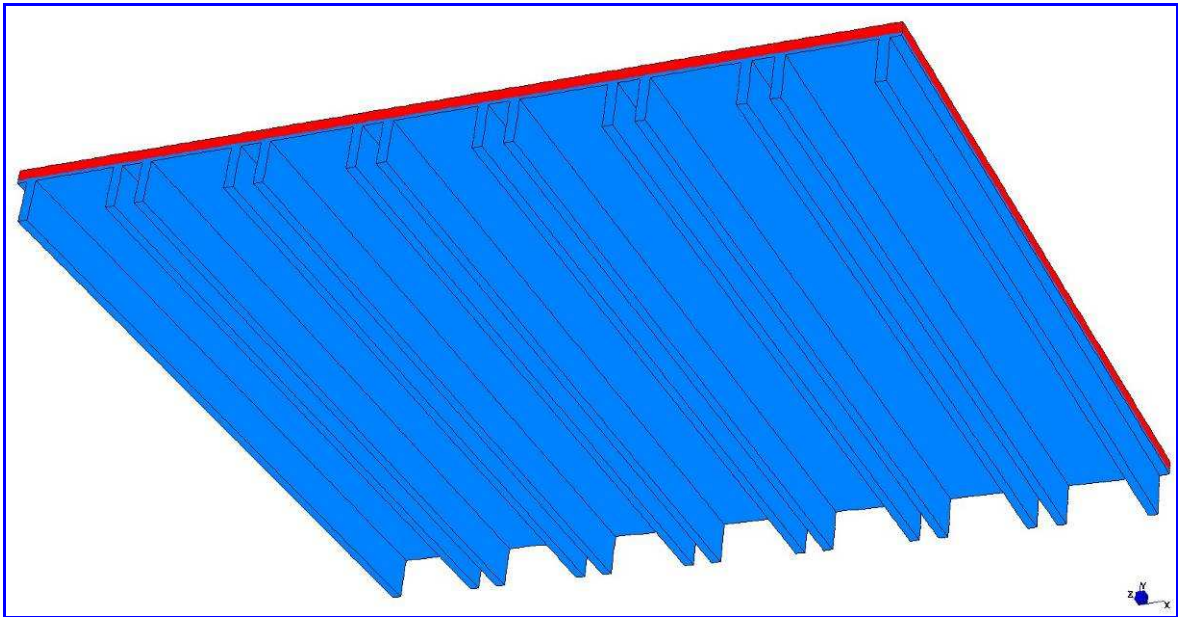


### 6. MODELLAZIONE NUMERICA

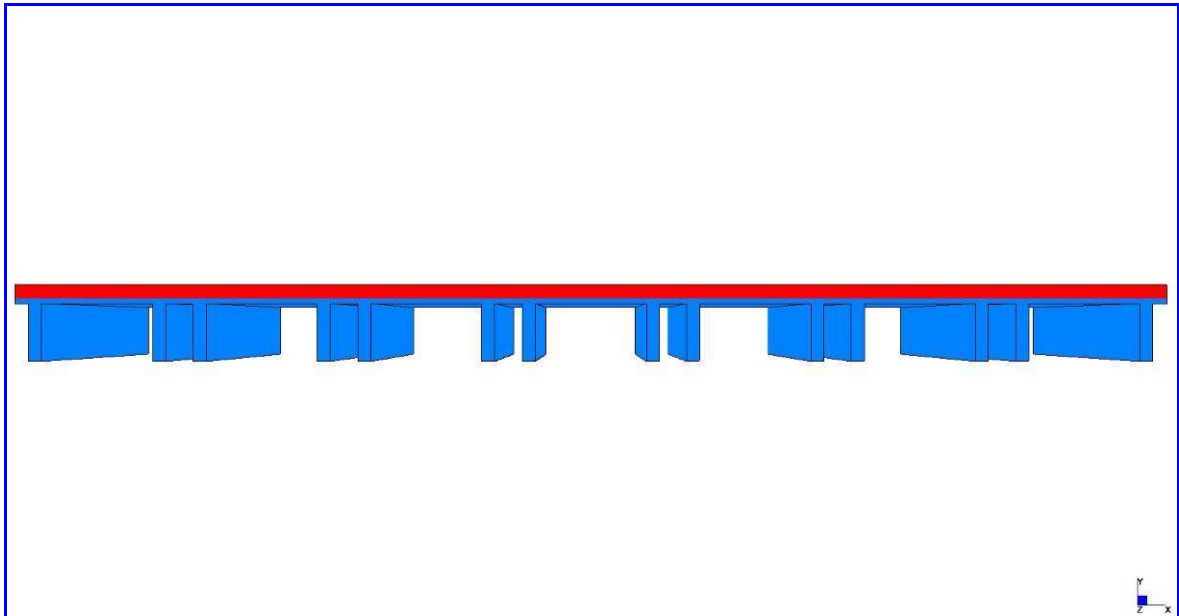
#### 6.1. Il modello agli elementi finiti

Il modello numerico utilizzato è stato calibrato sulla base della caratterizzazione dinamica nella presente relazione. Una volta assemblato il modello si è provveduto a variarne i parametri di contorno fino alla convergenza tra i risultati sperimentali e quelli teorici.

*Assonometrica del solaio – Vista dall'alto*



*Assonometrica del solaio – Vista dal basso*



*Sezione trasversale del solaio*

Il modello ad elementi finiti è costituito da 15.087 nodi, da 14.840 elementi plate e da 742 elementi beam utilizzati nella modellazione dei diversi elementi del manufatto rappresentato nelle figure precedenti.

Assecondando l'esigenza di ottenere delle risposte dinamiche aderenti si sono adottati i moduli elastici indicati nella successiva tabella, che oltre alle proprietà meccaniche adottate per il materiale, riporta anche il numero di elementi che compongono la struttura modellata.

**TABELLA 7 – Caratteristiche del modello**

| <b>ELEMENTO</b> | <b>MATERIALE</b>    | <b>N° ELEMENTI</b>  | <b>E [MPa]</b> | <b><math>\rho</math> [kN/m<sup>3</sup>]</b> |
|-----------------|---------------------|---------------------|----------------|---|
| <i>Travi</i>    | <i>Calcestruzzo</i> | <i>742 beam</i>     | <i>34.800</i>  | <i>25,00</i>                                |
| <i>Soletta</i>  |                     | <i>14.840 plate</i> | <i>33.000</i>  |   |

I risultati che il programma di calcolo fornisce per ogni elemento sono costituiti dagli spostamenti e dalle forze nodali, inoltre, mediante interpolazione dei valori di tensione calcolati nei punti citati, il programma di calcolo fornisce una rappresentazione grafica dello stato di tensione dell'intera struttura.

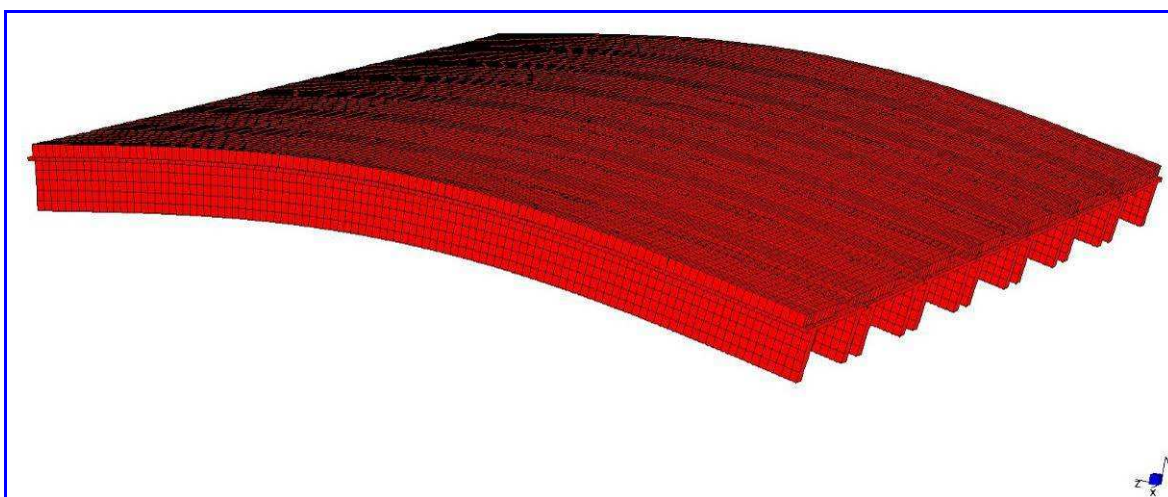


## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

### 6.2. Identificazione dinamica

La metodologia per la valutazione delle frequenze e forme proprie di vibrazione è quella dell'analisi modale. Essa richiede esclusivamente la conoscenza della matrice di rigidezza e della matrice di massa del sistema discretizzato. Sia la matrice di rigidezza che quella di massa della struttura è determinata attraverso il procedimento d'assemblaggio dei contributi di ciascun elemento finito. Il procedimento è implementato nel solutore STRAUS 7, versione STRAND 2.3.7.

Il solutore per l'analisi modale consiste in una procedura iterativa nel sottospazio degli autovettori, che consente di ottenere un numero ridotto di autosoluzioni, con frequenza contenuta entro un dominio prefissato; il procedimento iterativo opera considerando successive approssimazioni delle forme e delle frequenze proprie. Tale procedura è stata applicata nella presente analisi ricercando le frequenze nel dominio dei valori sperimentali. Ciascuna forma propria di vibrazione è rappresentata come una configurazione deformata del ponte, definita amplificando il generico autovettore normalizzato mediante una costante da precisare.



*Vista assometrica del I modo di vibrare,  $f_1 = 11,8$  Hz*

*Vista laterale del I modo di vibrare,  $f_1 = 11,8$  Hz*

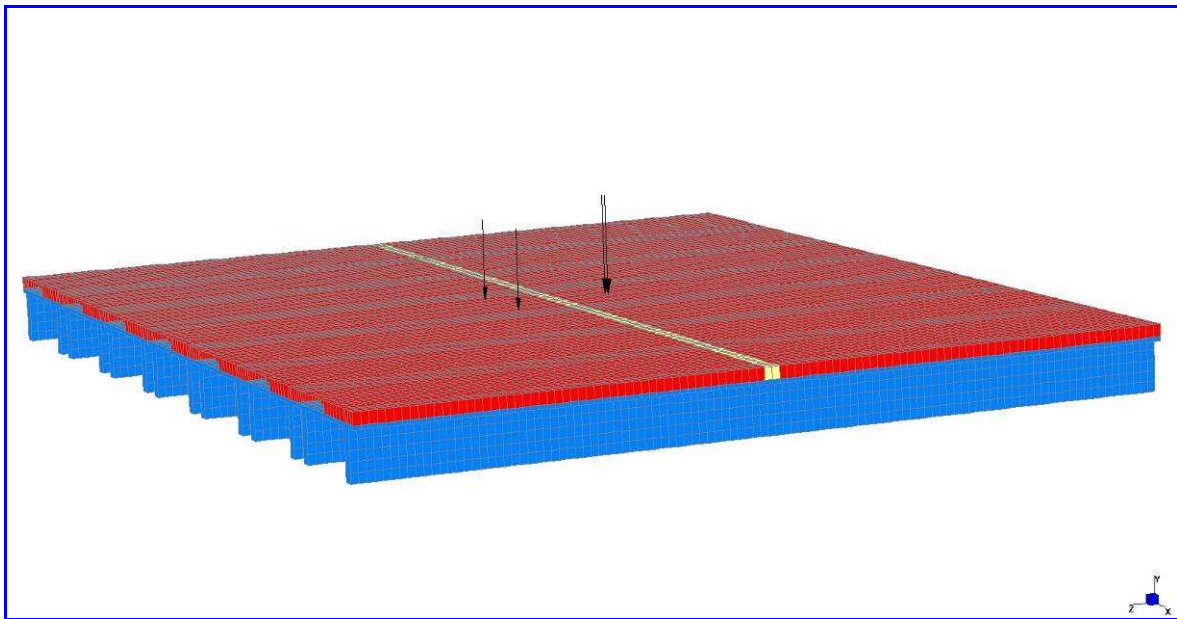
**TABELLA 8 – Frequenze teoriche**

| DESCRIZIONE                    | FREQUENZA (Hz) |
|--------------------------------|----------------|
| I Modo - Flessionale verticale | 11,8           |

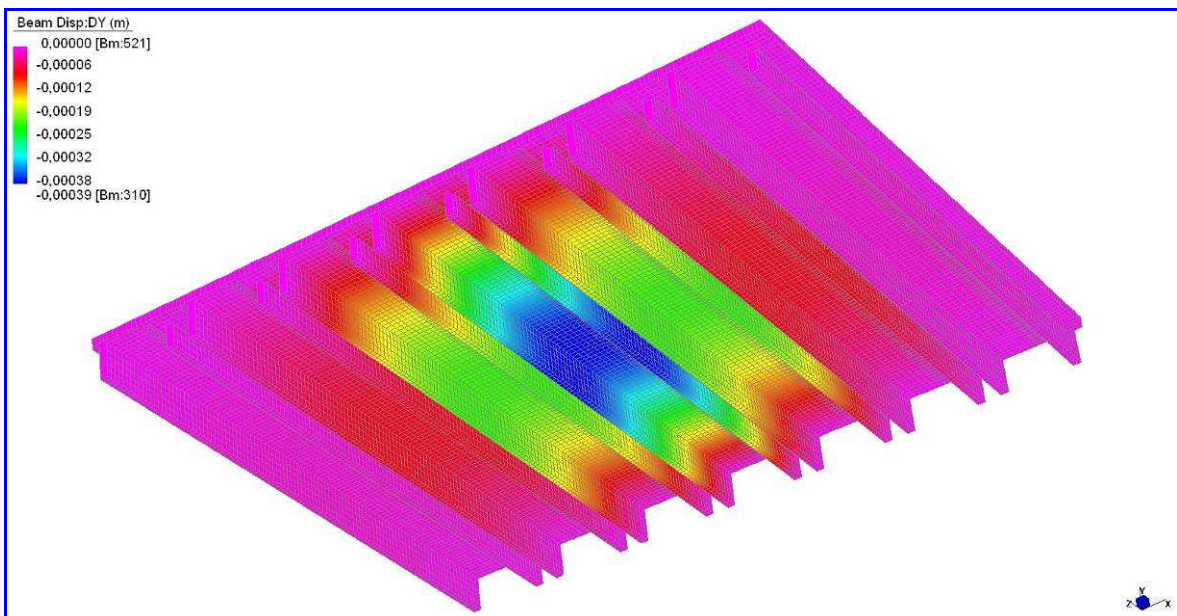
**6.3. Analisi dello stato di deformazione dovuto ai carichi di prova**

Nei paragrafi successivi si riportano le condizioni di carico ed i rispettivi abbassamenti della struttura con riferimento alle posizioni ed alle fasi definite nel capitolo 5.

*Posizione 1 – Fase A  
Solaio libero  
caricato da un muletto posizionato nella direzione delle travi*



*Forze rappresentative della condizione di carico C1*



*Condizione di carico C1 – Spostamenti verticali*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



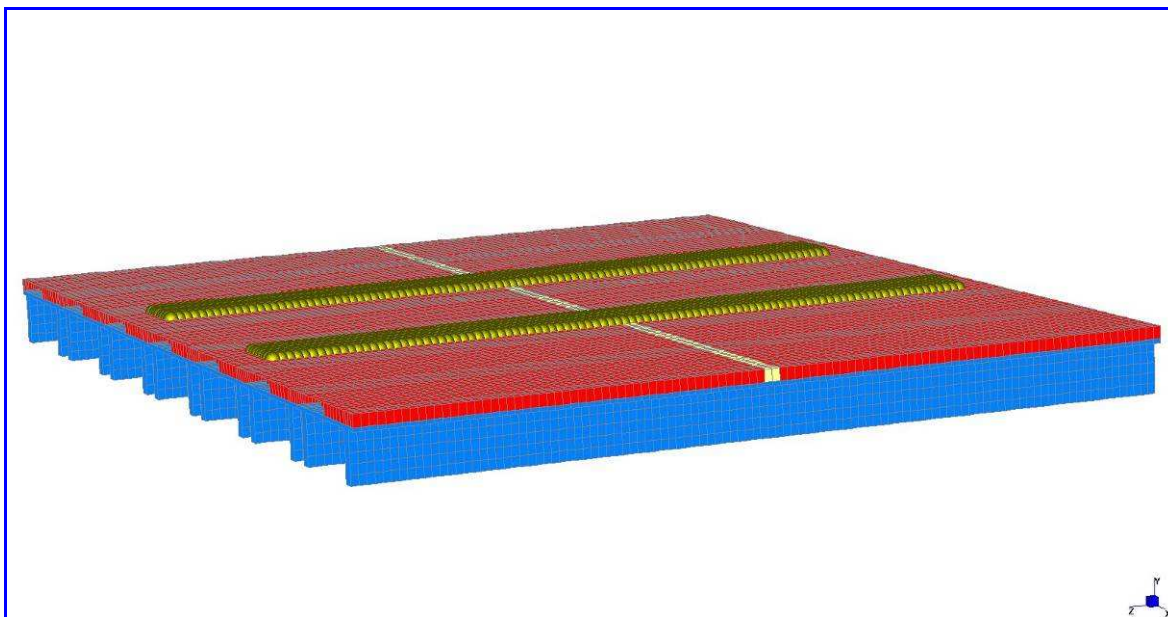
*Forze rappresentative delle condizioni di carico C2 e C3*

*Condizione di carico C2 – Spostamenti verticali*

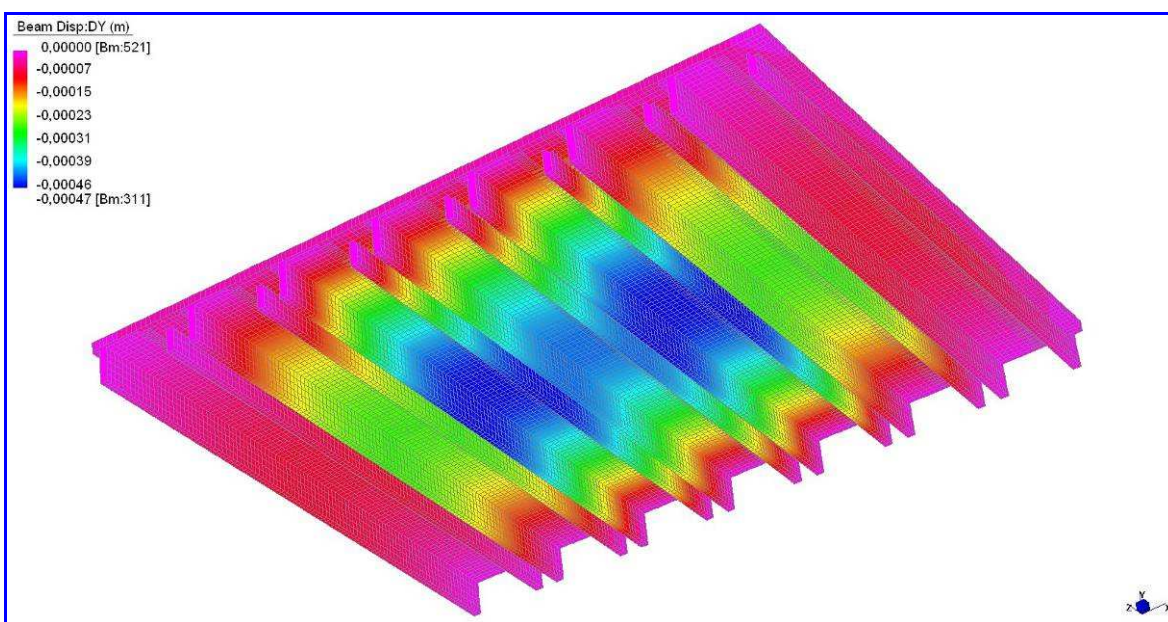
*Condizione di carico C3 – Spostamenti verticali*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

*Solaio con 16 bancali d'acqua posizionati nella direzione delle travi*



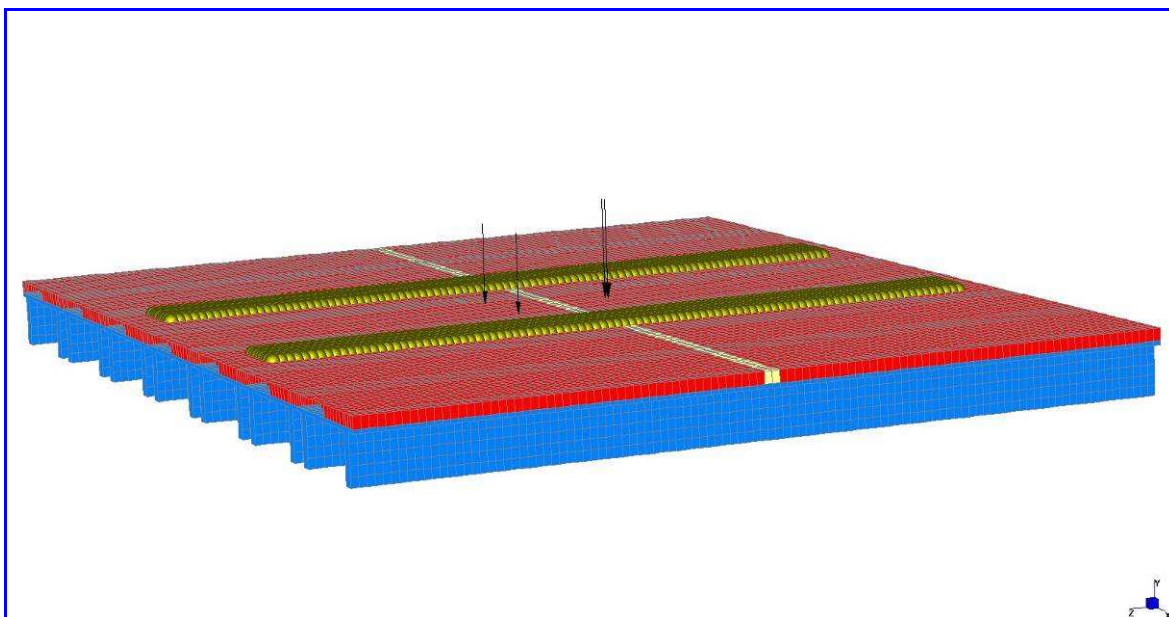
*16 bancali d'acqua disposti nella direzione delle travi*



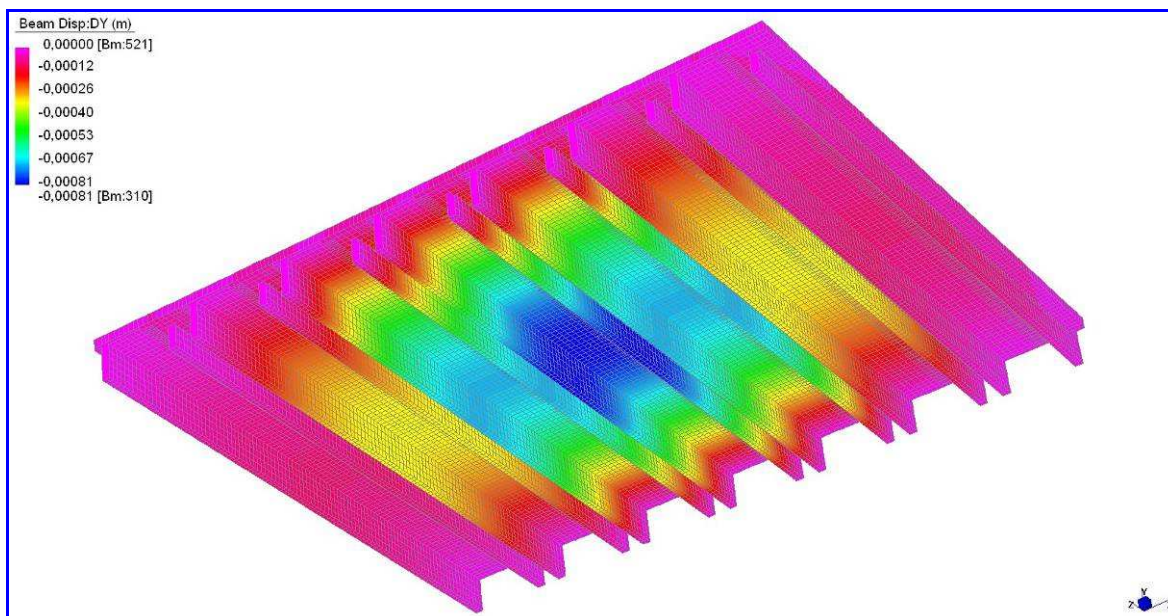
*16 bancali d'acqua nella direzione dell'orditura del solaio – Spostamenti verticali*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

*Posizione 1 – Fase B  
Solaio con 16 bancali d'acqua  
caricato da un muletto posizionato nella direzione delle travi*



*Condizione di carico C1*



*Condizione di carico C1 – Spostamenti verticali*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Forze rappresentative delle condizioni di carico C2 e C3*

*Condizione di carico C2 – Spostamenti verticali*

*Condizione di carico C3 – Spostamenti verticali*

***Posizione 2 – Fase A***

***Solaio libero***

***caricato da un muletto posizionato ortogonalmente alla direzione delle travi***

*Forze rappresentative della condizione di carico C1*

*Condizione di carico C1 – Spostamenti verticali*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

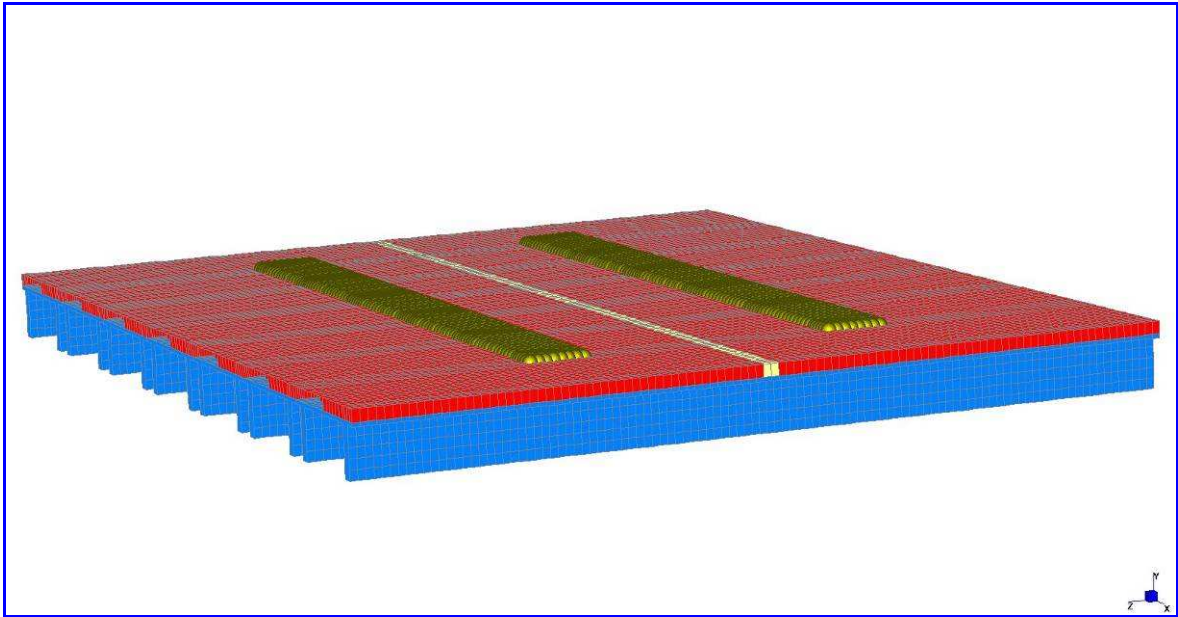


*Forze rappresentative delle condizioni di carico C2 e C3*

*Condizione di carico C2 – Spostamenti verticali*

*Condizione di carico C3 – Spostamenti verticali*

*Solaio con 16 bancali d'acqua posizionati ortogonalmente alla direzione delle travi*



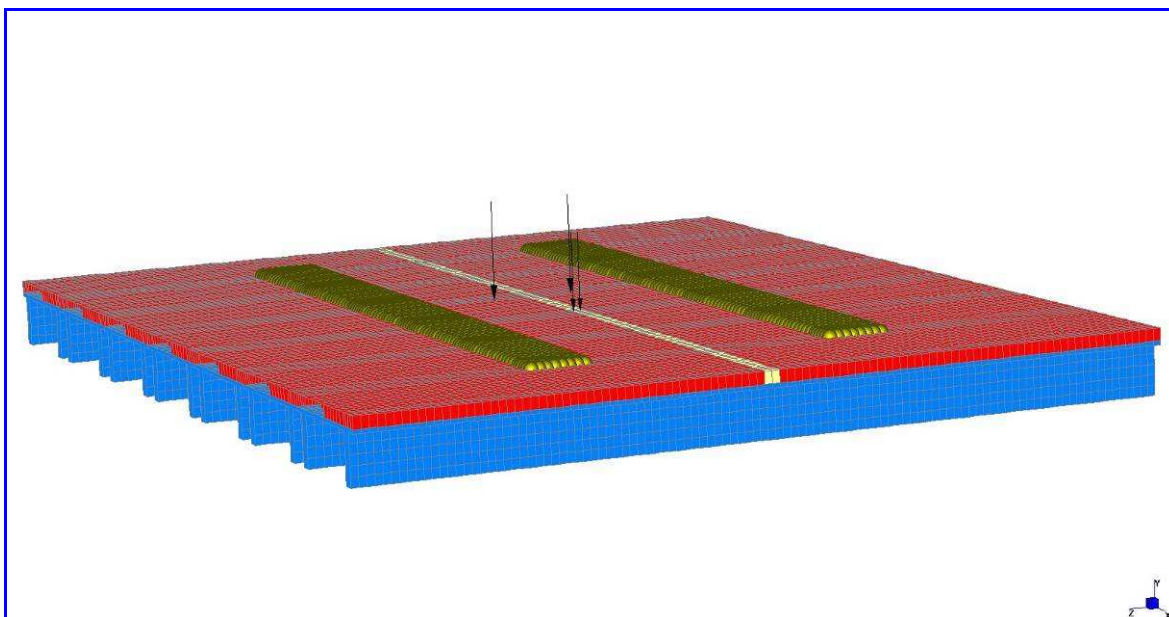
*16 bancali d'acqua disposti ortogonalmente alla direzione delle travi*

*16 bancali d'acqua in direzione ortogonale all'orditura del solaio – Spostamenti verticali*

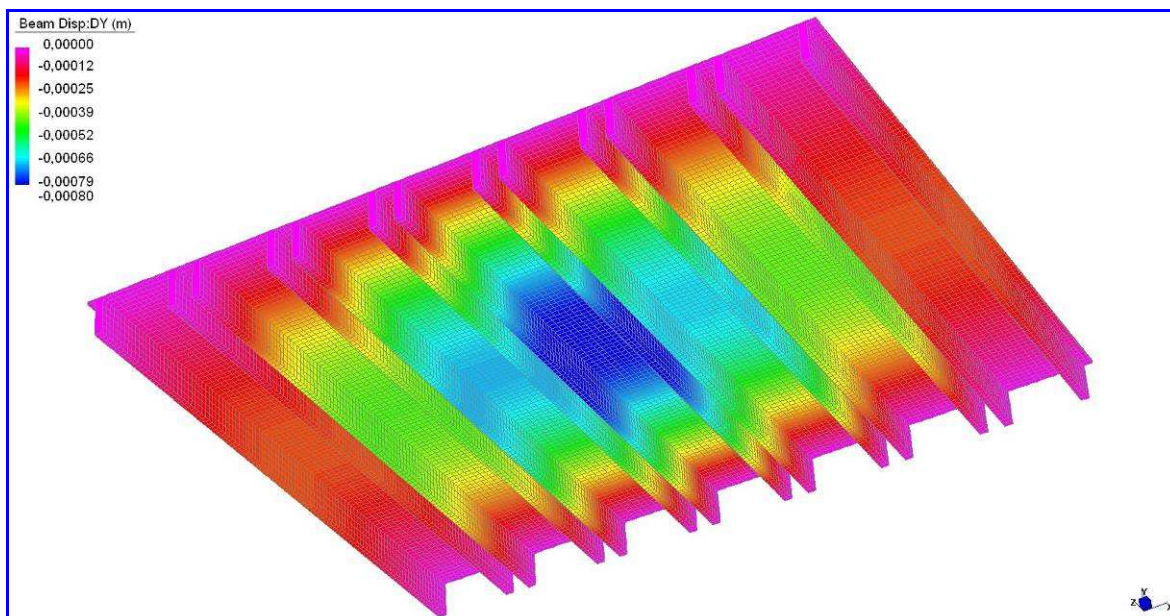


## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

*Posizione 2 – Fase B  
Solaio con 16 bancali d'acqua  
caricato da un muletto posizionato ortogonalmente alla direzione delle travi*



*Condizione di carico C1*



*Condizione di carico C1 – Spostamenti verticali*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO



*Forze rappresentative delle condizioni di carico C2 e C3*

*Condizione di carico C2 – Spostamenti verticali*

*Condizione di carico C3 – Spostamenti verticali*

**6.3.1. Freccie teoriche**

Gli stati deformativi dovuti ai carichi di prova sono riportati nella tabella seguente.

TABELLA 9 – Freccie teoriche massime

| Posizione dei carichi  | Condizione iniziale deformata           | Condizione di carico | DEFORMAZIONI [mm]      |
|--|---|----------------------|------------------------|
|  |   |                      | Ch3<br>Mezzeria solaio |
| <b>POSIZIONE 1</b><br><br>Carico in direzione parallela all'orditura del solaio  | FASE A<br>Solaio libero dai bancali     | C1                   | 0,39                   |
|  |   | C2                   | 0,47                   |
|  |   | C3                   | 0,57                   |
|  | FASE B<br>Solaio con 16 bancali d'acqua | C1                   | 0,38                   |
|  |   | C2                   | 0,47                   |
|  |   | C3                   | 0,56                   |
| <b>POSIZIONE 2</b><br><br>Carico in direzione ortogonale all'orditura del solaio | FASE A<br>Solaio libero dai bancali     | C1                   | 0,36                   |
|  |   | C2                   | 0,46                   |
|  |   | C3                   | 0,56                   |
|  | FASE B<br>Solaio con 16 bancali d'acqua | C1                   | 0,36                   |
|  |   | C2                   | 0,46                   |
|  |   | C3                   | 0,56                   |

### **6.4. Analisi dello stato di deformazione dovuto ai carichi di progetto**

Una volta identificati i parametri meccanici dei materiali attraverso la simulazione delle caratteristiche modali e quindi definito un modello agli elementi finiti affidabile, si è proceduto ad analizzare la risposta statica del solaio alle azioni prodotte dall'impianto automatico in progetto.

Nel seguito sono precisate le modalità con cui sono state valutate le azioni insieme con la loro modellazione nell'ambito della schematizzazione agli elementi finiti e sono riportate le condizioni di carico utilizzate nell'analisi della struttura.

La valutazione delle azioni è stata effettuata con riferimento ai dati forniti da XXXXXXXX Italia S.p.A. tramite relazione tecnica denominata "2010-09-27 TS carichi al pavimento rev2.doc V2.0" del 27-09-2010.

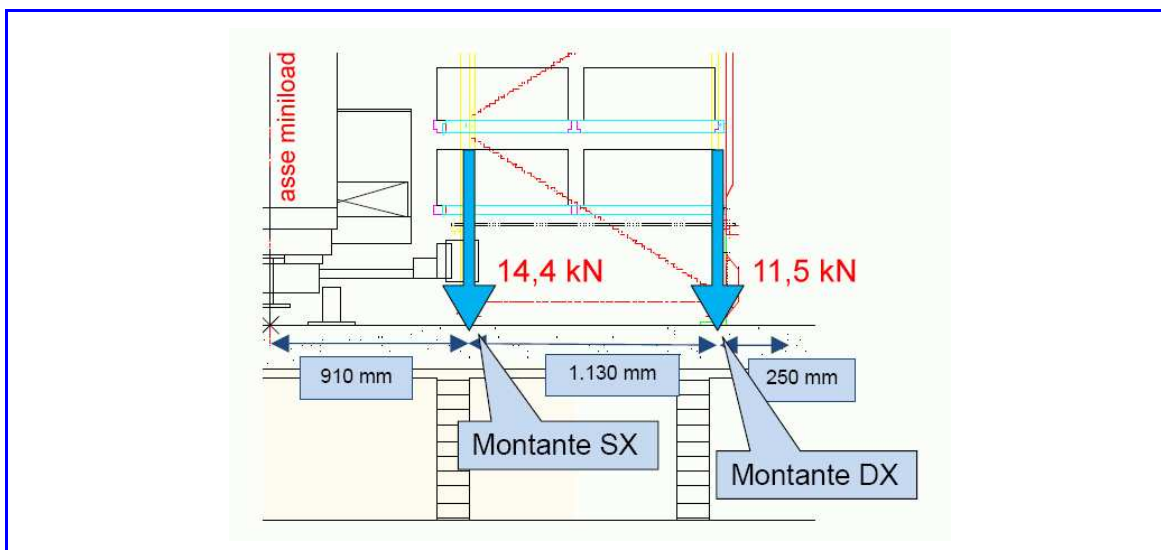
#### **6.4.1. Azioni dovute alle scaffalature**

Di seguito è schematizzata una corsia di scaffalatura miniload: essa è costituita da due filari di scaffalature ed ogni filare è costituito da spalle composte da due montanti fissati a terra con opportuni tasselli; l'interasse tra le spalle è di circa 525 mm e tra i due filari di scaffali scorre una macchina automatica (miniload) su una rotaia fissata a pavimento.

*Esempio di corsia di scaffalatura miniload*

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

Le figure di seguito riportano una sezione ed una pianta per le azioni puntuali trasmesse al pavimento dai montanti delle scaffalature e pari a 14,4 kN per il montante sinistro ed a 11,5 kN per quello destro.



*Azioni trasmesse dai montanti alla pavimentazione*

*Pianta dei montanti di due filari di scaffalature*

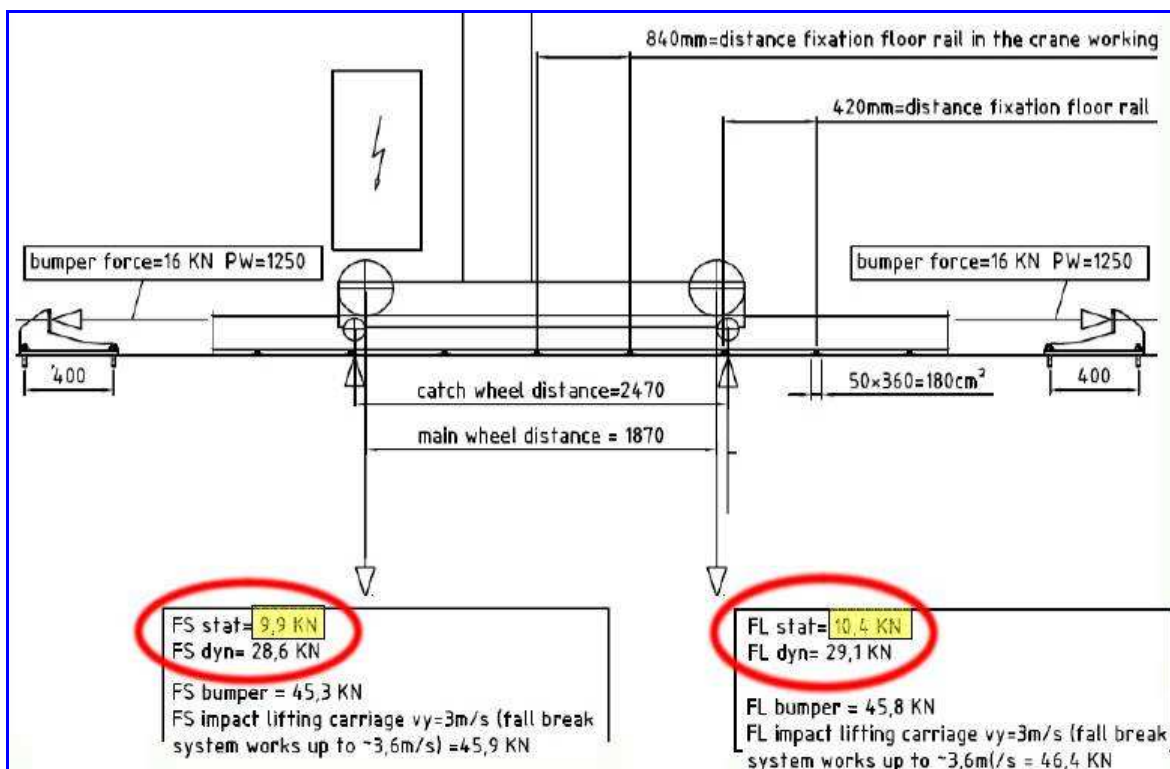
### 6.4.2. Azioni dovute al miniloader

Per quanto riguarda le azioni trasmesse dal trasloelevatore miniloader alla rotaia si fa riferimento alla figura della pagina seguente indicanti le azioni statiche, dinamiche (accelerazione e decelerazione durante la normale attività) e dinamiche in caso di evento eccezionale di arresto di emergenza contro il bumper di fine corsa.

Le azioni statiche e dinamiche si scaricheranno a terra tramite rotaia e da questa alle piastre d'appoggio: mediamente ogni ruota insisterà su tre piastre di fissaggio.

Le massime azioni di compressione trasmesse al pavimento e considerate nella simulazione numerica sono le seguenti:

- $F_{STAT} = 10,4$  kN in condizioni statiche;
- $F_{DIN} = 29,1$  kN in condizioni dinamiche di normale operatività;



6.4.3. Combinazioni di carico

Di seguito si riportano le combinazioni di carico analizzate per ottenere i massimi abbassamenti.

TABELLA 10 – Combinazioni di carico

| COMBINAZIONE | AZIONE   |                  |                   |   |
|--------------|--|------------------|-------------------|---|
|              | Scaffali   | Miniload statico | Miniload dinamico |   |
| 1 LONG       | Disposizione delle sole scaffalature a massimo carico nella direzione delle travi come da progetto                                   | 1                | 0                 | 0 |
| 2 LONG       | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni statiche nella direzione delle travi come da progetto  | 1                | 1                 | 0 |
| 3 LONG       | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni dinamiche nella direzione delle travi come da progetto | 1                | 0                 | 1 |
| 1 ORTO       | Disposizione delle sole scaffalature a massimo carico nella direzione ortogonale alle travi  | 1                | 0                 | 0 |
| 2 ORTO       | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni statiche nella direzione ortogonale alle travi         | 1                | 1                 | 0 |
| 3 ORTO       | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni dinamiche nella direzione ortogonale alle travi        | 1                | 0                 | 1 |

### **6.4.4. Freccie teoriche**

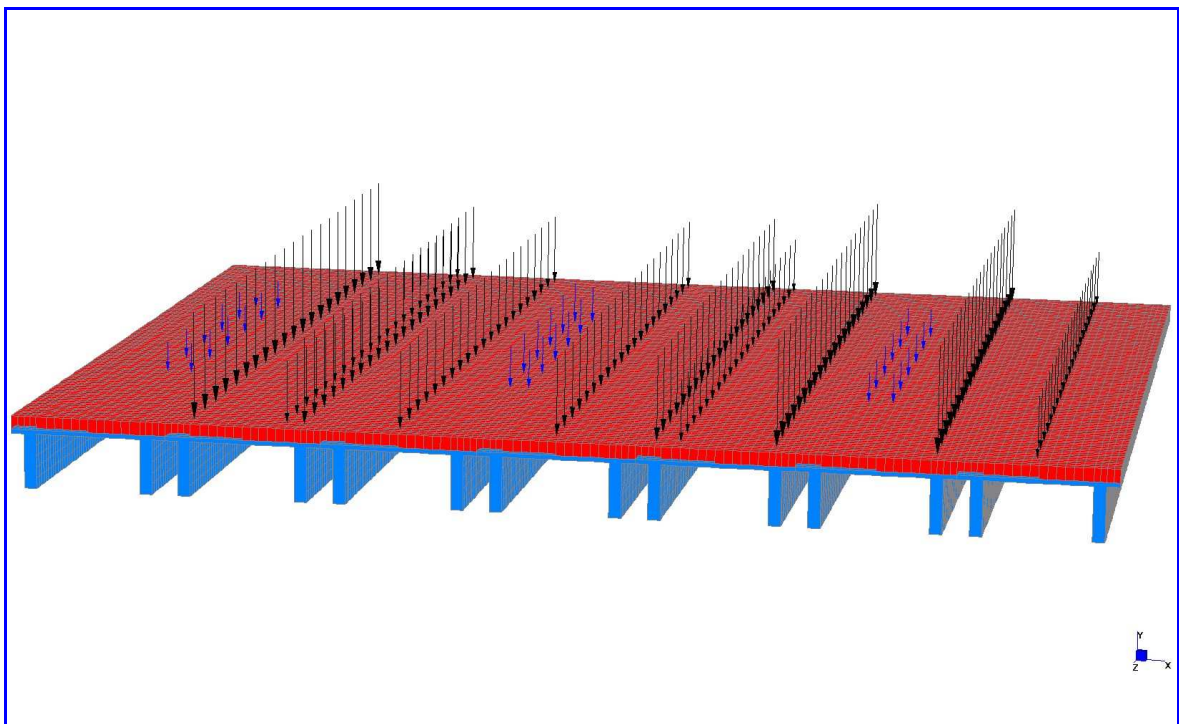
Per ognuna delle suddette combinazioni di carico sono riportate le forze rappresentative della disposizione dei carichi e le mappature di colore dei massimi spostamenti verticali sul solaio.

*Combinazione di carico 1 LONG*

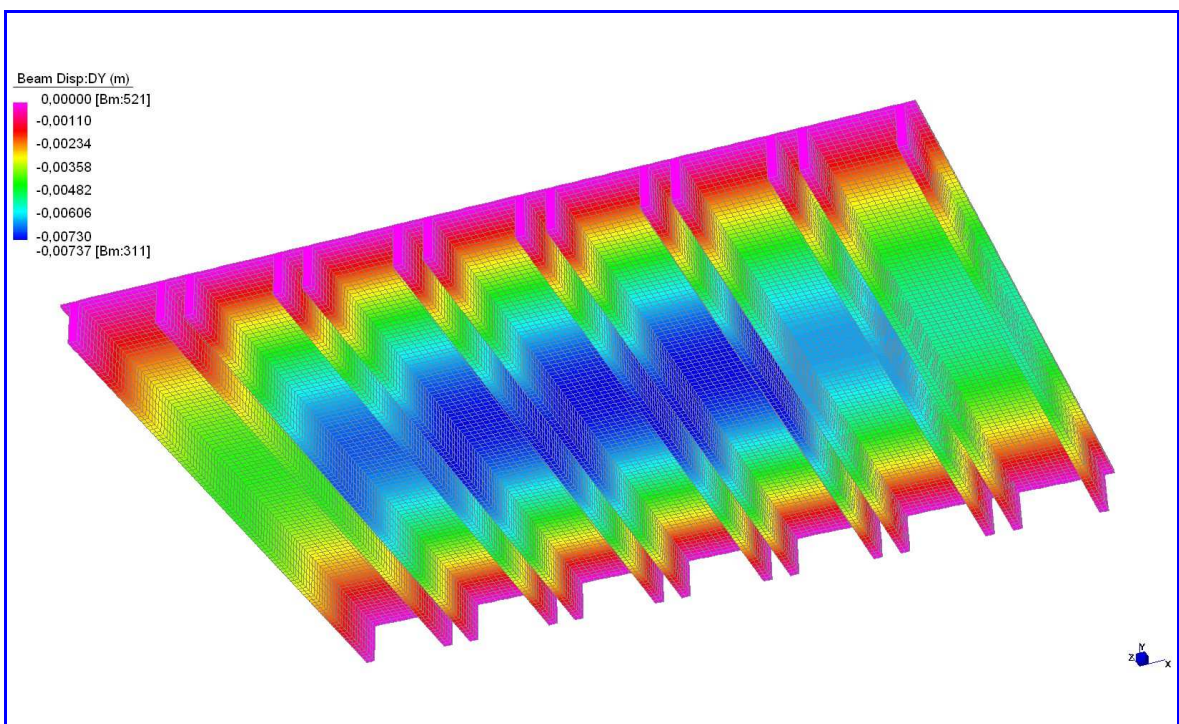
*Combinazione di carico 1 LONG – Spostamenti verticali*

*Combinazione di carico 2 LONG*

*Combinazione di carico 2 LONG – Spostamenti verticali*



*Combinazione di carico 3 LONG*



*Combinazione di carico 3 LONG – Spostamenti verticali*



## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

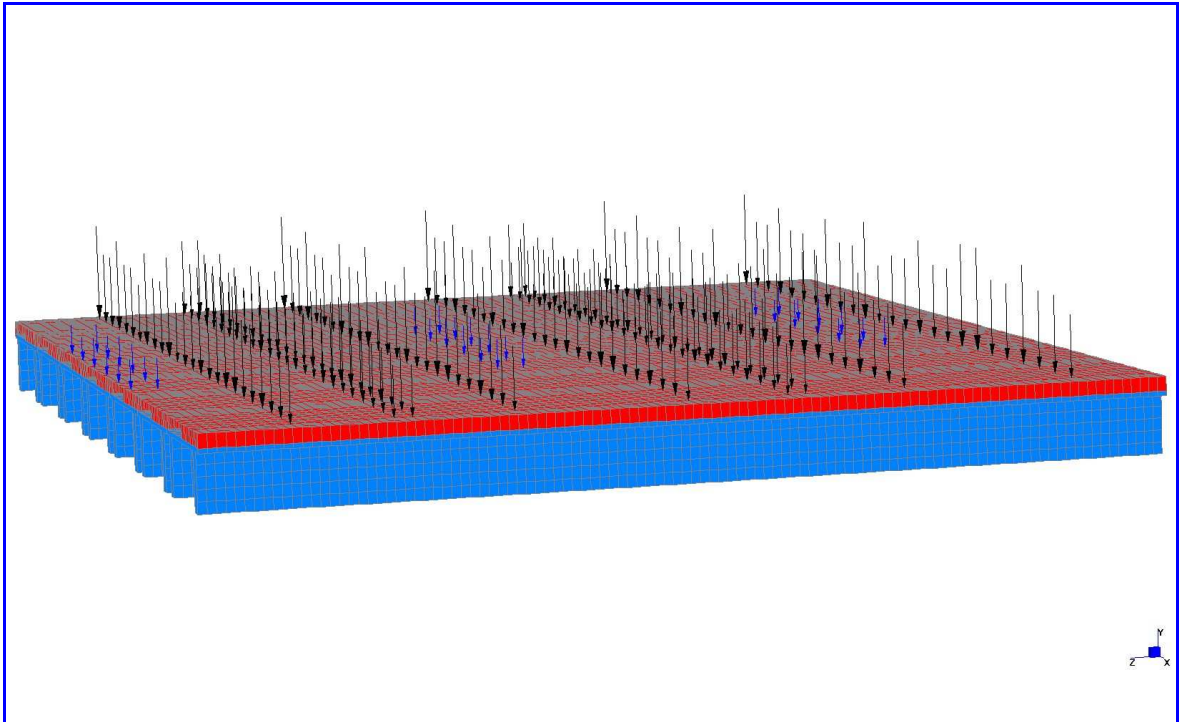


*Combinazione di carico 1 ORTO*

*Combinazione di carico 1 ORTO – Spostamenti verticali*

*Combinazione di carico 2 ORTO*

*Combinazione di carico 2 ORTO – Spostamenti verticali*



*Combinazione di carico 3 ORTO*

*Combinazione di carico 3 ORTO – Spostamenti verticali*

La tabella seguente riporta gli spostamenti verticali massimi per le combinazioni di carico analizzate.

TABELLA 11 – Frecce teoriche massime

| COMBINAZIONE DI CARICO |  | DEFORMAZIONI [mm]<br>Mezzeria solaio |
|------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>1<br/>LONG</b>      | Disposizione delle sole scaffalature a massimo carico nella direzione delle travi come da progetto                                   | 6,81                                 |
| <b>2<br/>LONG</b>      | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni statiche nella direzione delle travi come da progetto  | 7,00                                 |
| <b>3<br/>LONG</b>      | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni dinamiche nella direzione delle travi come da progetto | 7,36                                 |
| <b>1<br/>ORTO</b>      | Disposizione delle sole scaffalature a massimo carico nella direzione ortogonale alle travi  | 6,79                                 |
| <b>2<br/>ORTO</b>      | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni statiche nella direzione ortogonale alle travi         | 6,98                                 |
| <b>3<br/>ORTO</b>      | Disposizione delle scaffalature a massimo carico e del miniload in condizioni dinamiche nella direzione ortogonale alle travi        | 7,32                                 |

**6.5. Confronto tra dati teorici e sperimentali**

Nella tabella si confrontano i parametri dinamici, derivati dal modello calibrato, con quelli sperimentali.

TABELLA 12 – Frequenze teoriche e sperimentali

| DESCRIZIONE                    | FREQUENZA [Hz]  |                     |
|--------------------------------|-----------------|---------------------|
|                                | <i>Teoriche</i> | <i>Sperimentali</i> |
| I Modo - Flessionale verticale | 11,8            | 11,8                |

Nella tabella successiva si confrontano i valori deformativi massimi delle prove di carico con quelli teorici.

TABELLA 13 – Frecche teoriche e sperimentali

| Posizione dei carichi   | Condizione iniziale deformata           | Condizione di carico | DEFORMAZIONI mezzeria solaio [mm] |                     |
|---|---|----------------------|-----------------------------------|---------------------|
|   |   |                      | <i>Teoriche</i>                   | <i>Sperimentali</i> |
| POSIZIONE 1<br><br>Carico in direzione parallela all'orditura del solaio  | FASE A<br>Solaio libero dai bancali     | C1                   | 0,39                              | 0,39                |
|   |   | C2                   | 0,47                              | 0,46                |
|   |   | C3                   | 0,57                              | 0,57                |
|   | FASE B<br>Solaio con 16 bancali d'acqua | C1                   | 0,38                              | 0,38                |
|   |   | C2                   | 0,47                              | 0,46                |
|   |   | C3                   | 0,56                              | 0,57                |
| POSIZIONE 2<br><br>Carico in direzione ortogonale all'orditura del solaio | FASE A<br>Solaio libero dai bancali     | C1                   | 0,37                              | 0,35                |
|   |   | C2                   | 0,46                              | 0,45                |
|   |   | C3                   | 0,56                              | 0,55                |
|   | FASE B<br>Solaio con 16 bancali d'acqua | C1                   | 0,36                              | 0,36                |
|   |   | C2                   | 0,46                              | 0,46                |
|   |   | C3                   | 0,56                              | 0,56                |

## 7. CONCLUSIONI

### 7.1. Riassunto dei risultati

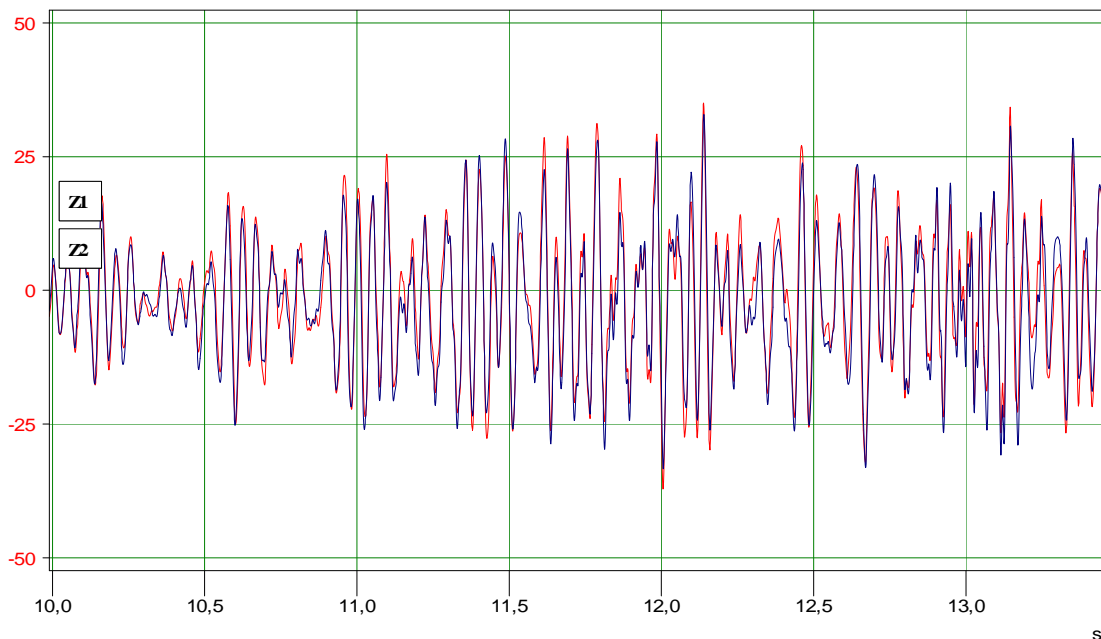
Di seguito si riportano i punti fondamentali emersi durante l'esecuzione delle varie indagini.

#### Planarità dei solai

- 1) L'analisi della planarità dei solai ha evidenziato delle differenze di quota, tra il primo e l'ultimo punto lungo le direttrici di misura, superiori al centimetro con un massimo di 1,68 cm su 15,5 m di lunghezza per la direttrice "a".
- 2) Congiungendo i due punti estremi delle direttrici "a", "b" e "c" o i punti fissi in corrispondenza dei setti per la direttrice "d" si ottengono delle differenze relative inferiori, pari a 0,34 cm su 15,5 m di lunghezza in direzione ortogonale all'orditura del solaio e di 0,41 cm su 10,4 m di luce di solaio.

#### Confronto vibrazionale soletta – travi pigreco

- 3) Dal confronto del segnale accelerometrico in direzione verticale tra l'estradosso soletta e l'intradosso trave, eseguito in tre zone distinte, si evince come gli oscillogrammi siano perfettamente in fase e presentino le stesse ampiezze, ad indicare come i due elementi siano perfettamente solidali uno con l'altro.



#### Analisi vibrazionale secondo la UNI 9916

- 4) In entrambi i solai monitorati i valori di ampiezza maggiori in funzione della frequenza che danno gli effetti più significativi sono quelli riferiti al file 7 nella prova 867/AA, solaio con scaffalature, e l'8 nella 868/AA, solaio libero, con valori di velocità di 5,38 mm/s e 6,24 mm/s, inferiore al limite minimo previsto, che è pari a 10 mm/s.

## CONTENUTO GRAFICO RIDOTTO

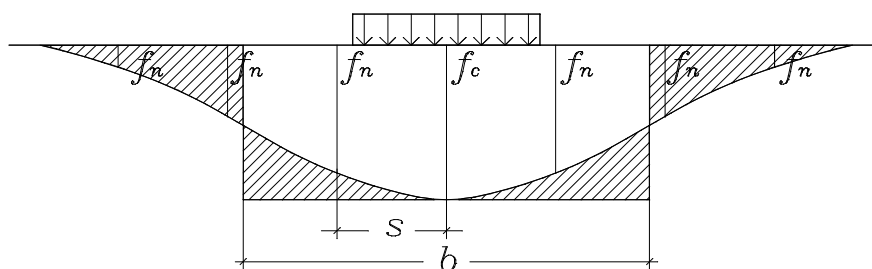
- 5) Dalle rilevazioni effettuate, gli effetti delle vibrazioni sulle strutture sono trascurabili e non si individuano situazioni di pericolosità.
- 6) Nel solaio con scaffalature, prova 867/AA, l'influenza data dal passaggio del retrattile in direzione ortogonale all'orditura del solaio lungo la corsia 2A (file 7) a 3 m dalla mezzeria risulta essere di 0,06 mm.
- 7) Nel solaio libero da scaffalature, prova 868/AA, l'influenza data dal passaggio del retrattile in direzione ortogonale all'orditura del solaio a 3 m dalla mezzeria (file 9) risulta essere di 0,07 mm.
- 8) Nel solaio libero da scaffalature, prova 868/AA, l'influenza data dal passaggio del retrattile lungo una trave distante 4 m da quella di riferimento (file 8) risulta essere di 0,08 mm.
- 9) Nel solaio libero da scaffalature, prova 868/AA, l'influenza del passaggio del commissionatore sul solaio precedente o seguente a quello di riferimento libero (file 16 e 18) è minima, risultando di 0,01 mm, e testimoniando come i solai si comportino effettivamente in semplice appoggio.

### Caratterizzazione dinamica

- 10) La caratterizzazione dinamica ha evidenziato come il primo modo di vibrare del solaio sia quello flessionale verticale con una frequenza pari a  $f = 11,8$  Hz.

### Prova di carico statica

- 11) La prova di carico ha mostrato comportamenti elastici e ripetibili.
- 12) La prova ha evidenziato come i solai, seppur uniti tramite la soletta sovrastante, si comportino secondo lo schema statico del semplice appoggio.
- 13) Calcolando la collaborazione trasversale "b" del solaio, vedi schema sottostante o dal testo (allegato) "Prove in sito" alla pag. 21, questa risulta essere di 4,4 m.



$$b = \frac{(f_c + 2 \sum f_i) \cdot s}{f_c}$$

- 14) L'abbassamento relativo del solaio in posizione 1 durante la fase A e la fase B con bancali d'acqua risulta essere lo stesso per le tre condizioni di carico C1, C2 e C3, stessa cosa si può dire per la posizione 2, ortogonale all'orditura delle travi.
- 15) Gli abbassamenti nelle condizioni C1, C2 e C3 in posizione 2, con carichi ortogonali all'orditura delle travi, hanno mostrato valori simili alla posizione 1 ma leggermente inferiori.

### **Prova di carico statica-dinamica**

- 16) Il coefficiente di amplificazione dei carichi risulta avere dei valori che oscillano da 1,04 a 1,08.
- 17) Transitando alla stessa velocità ma con carichi crescenti, il coefficiente rimane costante.
- 18) Transitando con lo stesso carico ma con velocità crescenti di 5, 10 e 12,3 km/h, il coefficiente di amplificazione passa dai valori di 1, 1,03 e 1,05, non seguendo una legge lineare.

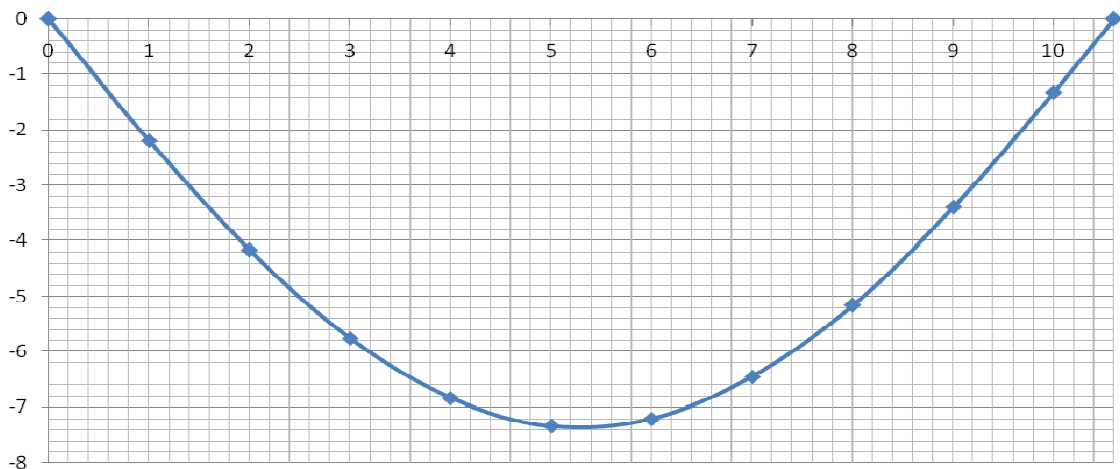
### **Modellazione numerica calibrata**

- 19) Il confronto dei dati sperimentali e teorici statici e dinamici dimostra che il modello è stato ben calibrato garantendoci sull'affidabilità delle risposte.
- 20) Inserendo i dati da progetto con le scaffalature a massimo carico e senza i miniload, si raggiungono degli abbassamenti di 6,81 mm.
- 21) Aggiungendo alla condizione precedente il carico statico dei miniload si raggiunge una freccia di 7,00 mm, che passa a 7,36 mm in condizioni di normale operatività, così come previsto dalla casa costruttrice.

### 7.2. Considerazioni tecniche finali

Dall'analisi di tutti i punti precedenti si può stabilire quanto segue.

- Il solaio presenta, in direzione longitudinale, delle differenze di planarità di 0,34 mm su 15 m e trasversalmente di 0,41 mm su 10,4 m.
- Soletta e travi a pigreco sono solidali.
- Non si presentano situazioni di pericolosità dovute alle vibrazioni sulle strutture secondo la UNI 9916.
- Il passaggio dei muletti a distanze minori di 4 m dalla trave di riferimento provocano degli abbassamenti inferiori a 0,1 mm sulla stessa, a significare che i futuri miniload non si influenzeranno l'un l'altro durante le fasi di lavoro, avendo interassi di 4,33 m, e non saranno influenzati dal normale passaggio degli altri muletti.
- Il modello numerico garantisce l'affidabilità delle risposte.
- L'abbassamento massimo si ottiene considerando le scaffalature da progetto a massimo carico con il peso dei miniload aumentato del coefficiente di amplificazione dato dalla ditta costruttrice, e risulta essere pari a 7,37 mm, con l'andamento sottostante.



Bolzano, 30 settembre 2010