

**INDAGINE DINAMICA**  
***COPERTURA STRALLATA PISTE AUTOSTRADALI***  
***“NUOVO CASELLO DI RONCHIS”***  
**LATISANA (UD)**

**PROVA N.2130/TV : 19-20 marzo 2009**

Committente: **XXXXXXXXXXXXxx**  
Relatori: **ing. Thomas Pavan**  
**ing. Maurizio Bruson**



*Nuovo casello autostradale di Ronchis*

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....</b>	<b>4</b>
<b>3. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA – Prova 2130/TV .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Descrizione della strumentazione.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Posizione degli strumenti .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Acquisizione dei dati.....</b>	<b>12</b>
<b>3.4 Modalità di elaborazione .....</b>	<b>12</b>
<b>3.5 Applicazione degli impulsi .....</b>	<b>12</b>
<b>4. ANALISI DEI RISULTATI .....</b>	<b>15</b>
<b>5. SINTESI DEI RISULTATI .....</b>	<b>22</b>
<b>6. CONSIDERAZIONI TECNICHE FINALI .....</b>	<b>23</b>

## 1. PREMESSA

La Società *4 EMME Service Spa*, specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata dalla **XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX** di eseguire un'indagine dinamica sulla copertura strallata delle piste autostradali del "Nuovo casello di Ronchis" a Latisana (UD).

L'indagine è stata eseguita allo scopo di valutare il comportamento dinamico della struttura sottoposta a forzanti esterne.

Le rilevazioni sono state effettuate **nelle giornate del 19 e 20 marzo 2009**.

Alla esecuzione delle prove hanno assistito:

ing. XXXXXXXX	XXXXXXXXXX
ing. XXXXXXXX	Direttore Lavori;
ing. XXXXXXXX	Progettista Strutture Metalliche;
ing. XXXXXXXX	Consulente Strutturale D.L.;
geom. XXXXXXXX	Assistente Dir. Lavori;

e per la *4 EMME Service S.p.a.*:

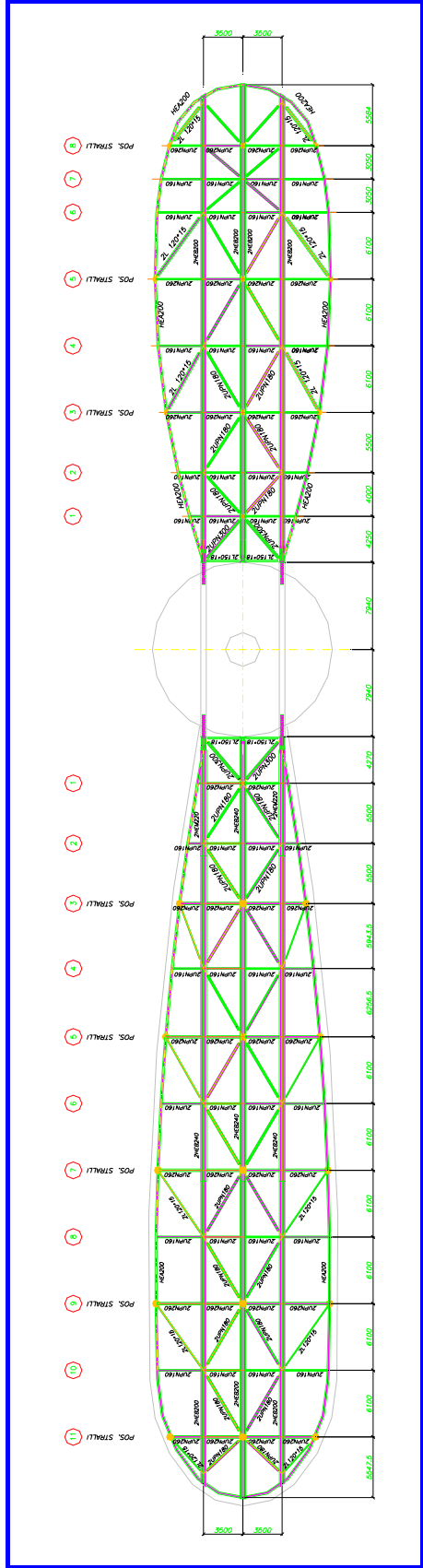
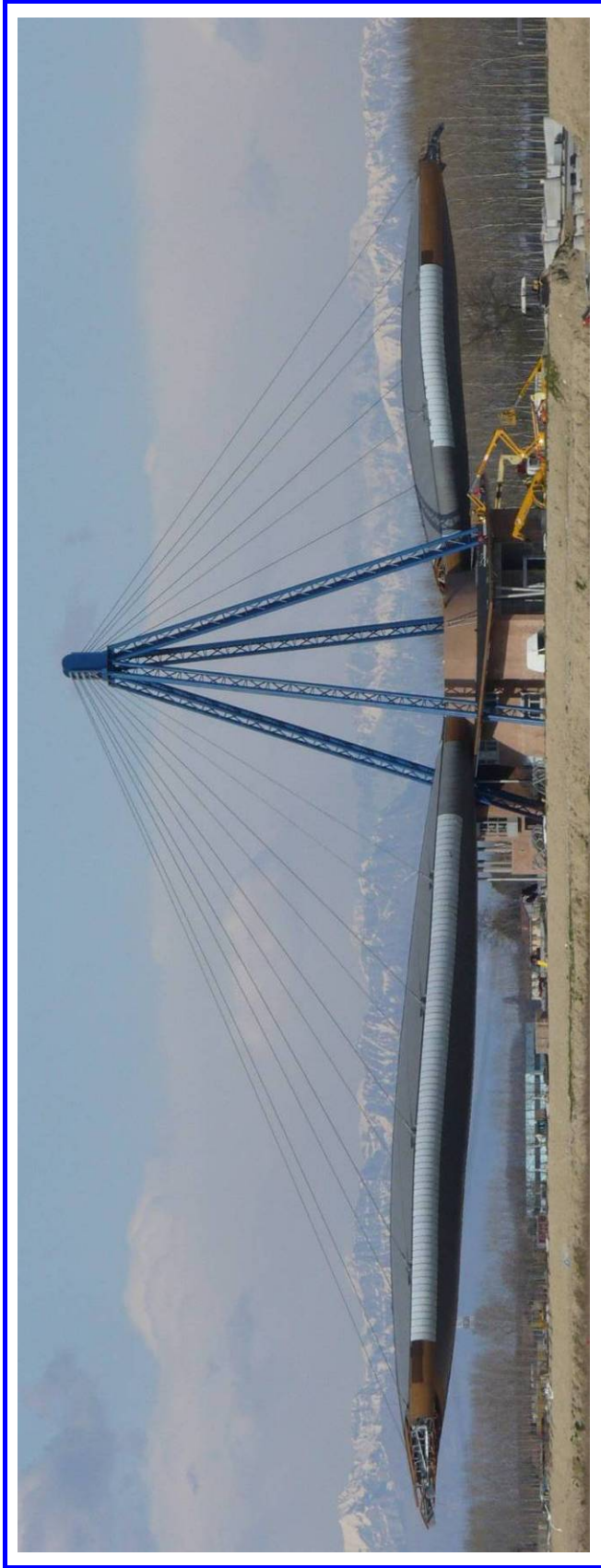
dott. Dario Altinier;  
ing. Thomas Pavan;  
ing. Roberto Bruson;  
ing. Maurizio Bruson;  
geom. Fabrizio Cisera;  
geom. Morris Casagrande.

## 2. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

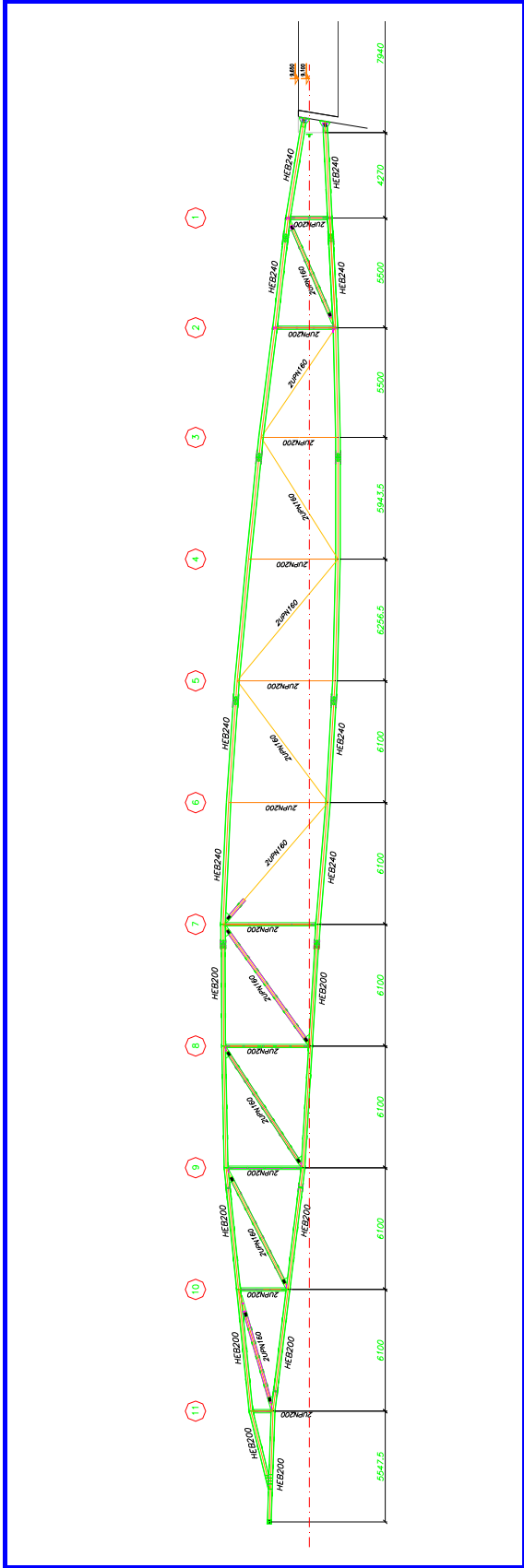
La struttura è costituita da due ali d'acciaio asimmetriche reticolari, ala ovest di 70 m ed ala est di 44 m, sostenute da due ordini di stralli. Le ali sono ancorate longitudinalmente e trasversalmente ad un nucleo centrale troncoconico scatolare in calcestruzzo armato solidale alle opere di fondazione.



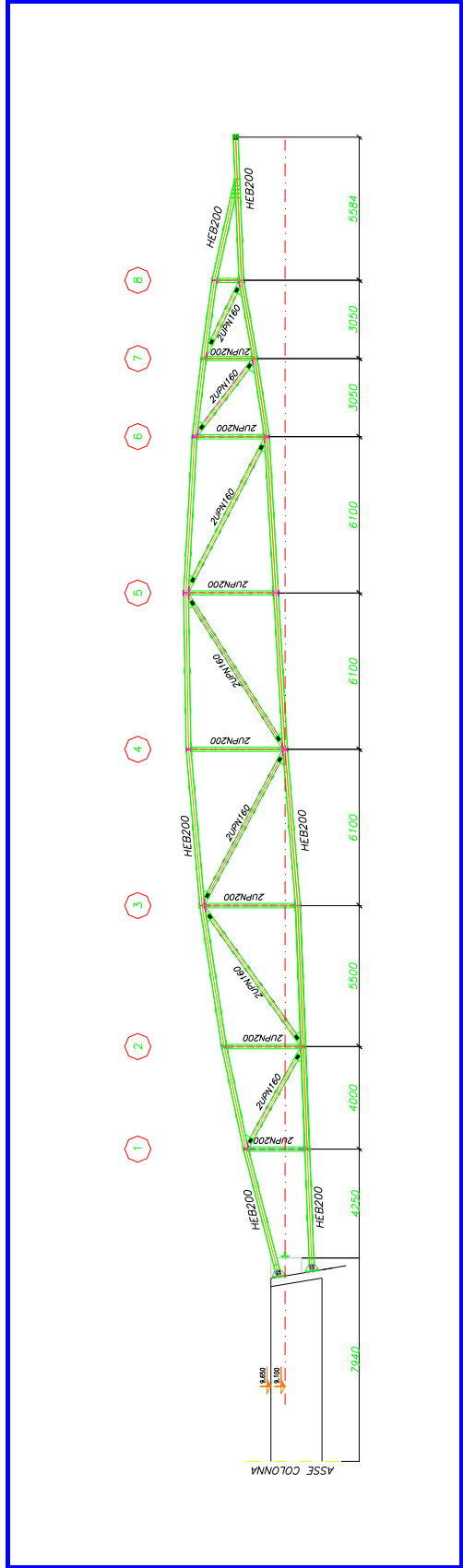
*Struttura metallica Ala Est*



*Pianta reticolare di falda superiore*



*Travatura principale centrale Ala Ovest*



*Travatura principale centrale Ala Est*



*Ala Ovest*



*Ala Est*



*Antenna*

### 3. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA – Prova 2130/TV

#### 3.1 Descrizione della strumentazione

La strumentazione impiegata per le rilevazioni è composta di:

- 20 accelerometri piezoelettrici PCB M19A
  - *sensibilità*: 500 mV/g ;
  - *campo*:  $\pm 5g$  ;
  - *risoluzione*:  $1 \times 10^{-5} g$  ;
  - *campo di frequenza*: 0,025-800 Hz;
- 2 convertitori analogico-digitali Strawberry Tree mod. Data Shuttle Express (13 bit);
- 2 computer Compaq.



#### 3.2 Posizione degli strumenti

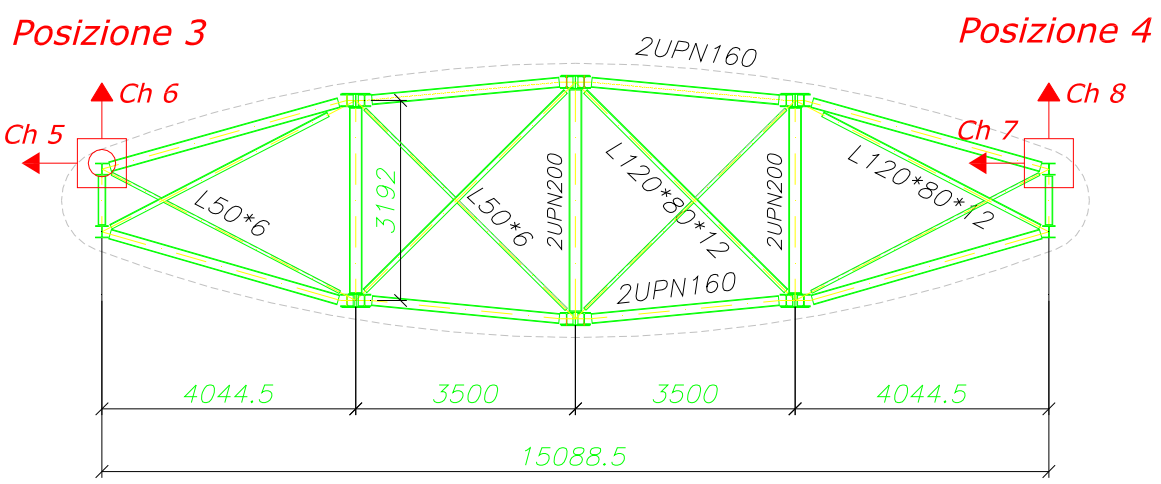
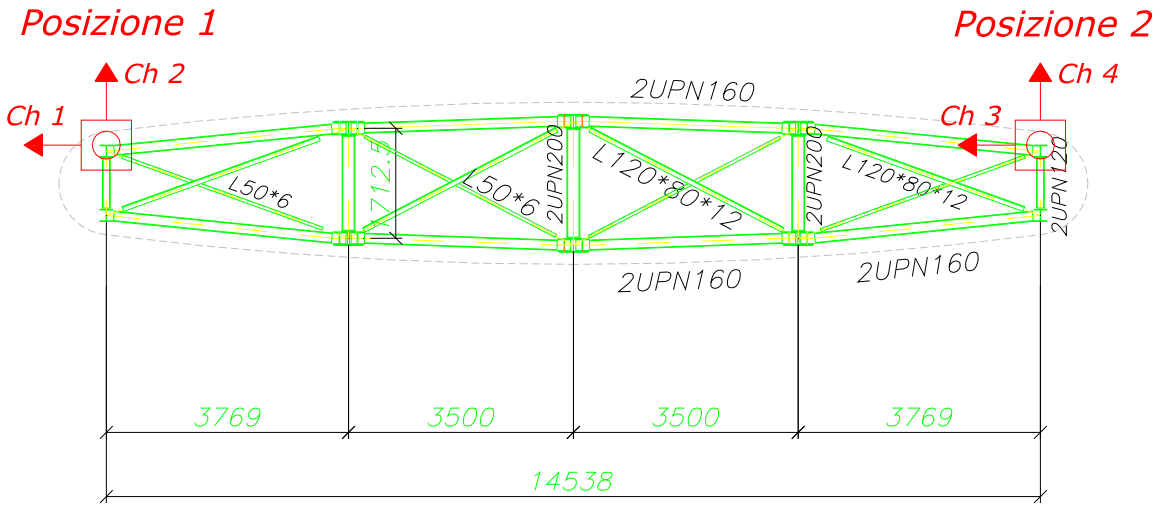
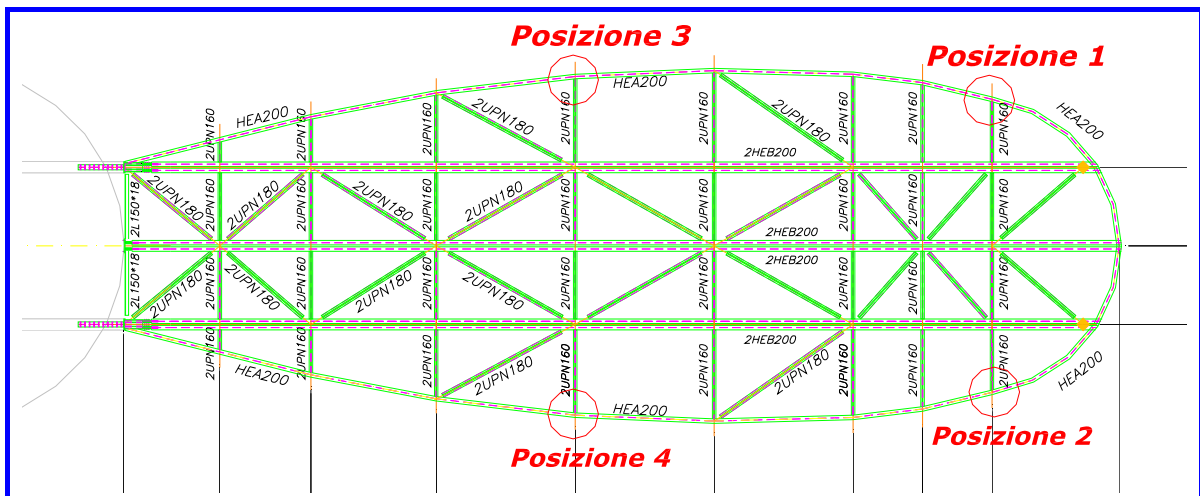
Per ciascuna delle due vele, in corrispondenza di 4 nodi strutturali, si sono posizionate 4 coppie di accelerometri per un totale di 16 sensori accelerometrici; ogni coppia accelerometrica è costituita da un sensore posto in direzione trasversale (X) ed uno verticale (Z) rispetto allo sviluppo delle ali. Nella posizione 7 oltre alla coppia di accelerometri si è utilizzato un ulteriore accelerometro (Ch20) per la sincronizzazione del segnale registrato dai due acquisitori.

E' stata inoltre posizionata una terna accelerometrica in sommità del pennone subito sotto il punto di ancoraggio dei tiranti.

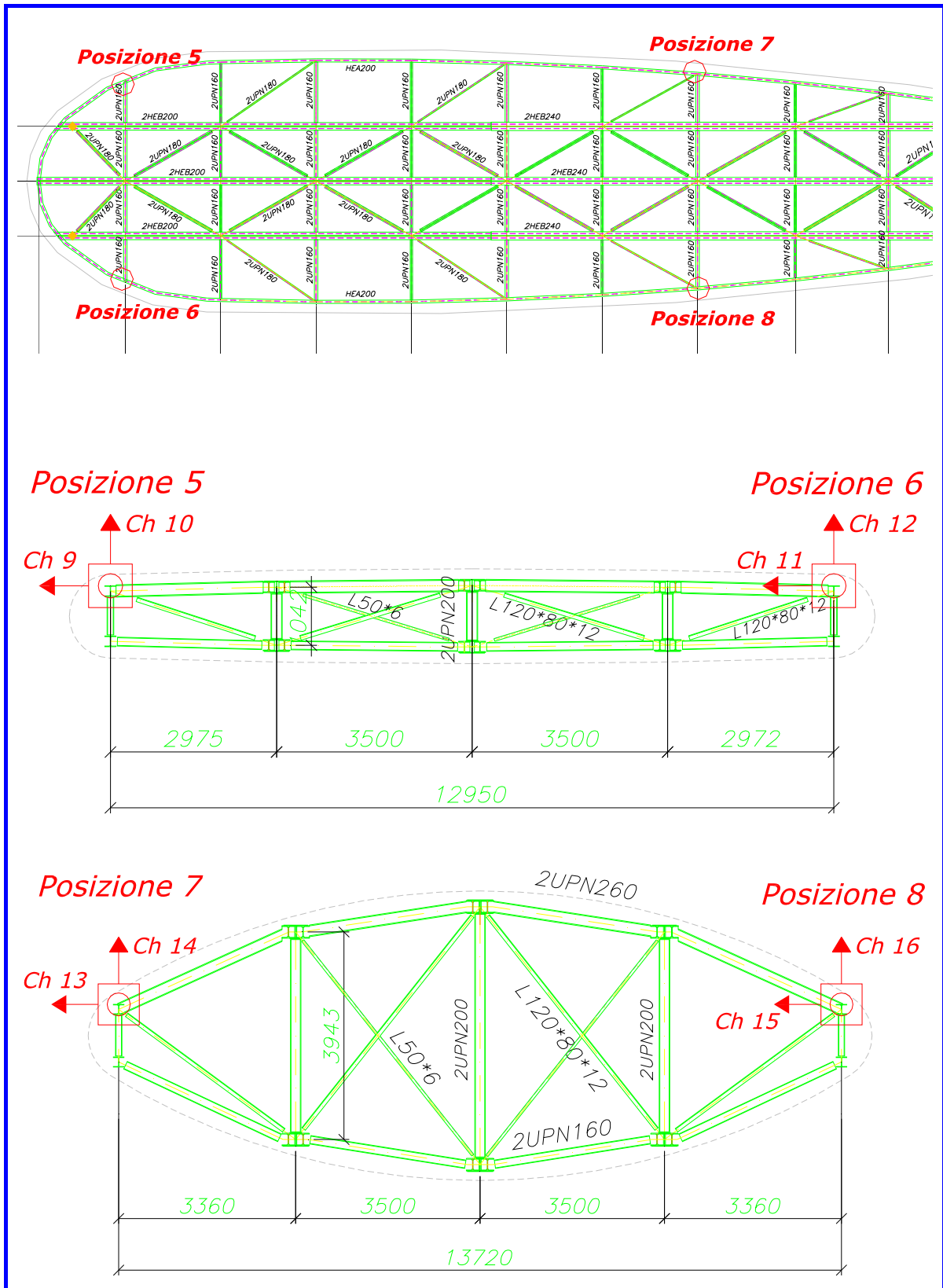
Nella tabella e negli schemi successivi sono riportati gli elementi e le relative posizioni di misura, il numero di accelerometro utilizzato nelle rispettive direzioni cartesiane, la centina indagata.

Elemento	Posizione	Direzione			Centina
		X	Y	Z	
Ala est	1	Ch1	-	Ch2	4
	2	Ch3	-	Ch4	
	3	Ch5	-	Ch6	7
	4	Ch7	-	Ch8	
Ala ovest	5	Ch9	-	Ch10	11
	6	Ch11	-	Ch12	
	7	Ch13	-	Ch14, Ch20	5
	8	Ch15	-	Ch16	
Antenna	9	Ch17	Ch18	Ch19	-





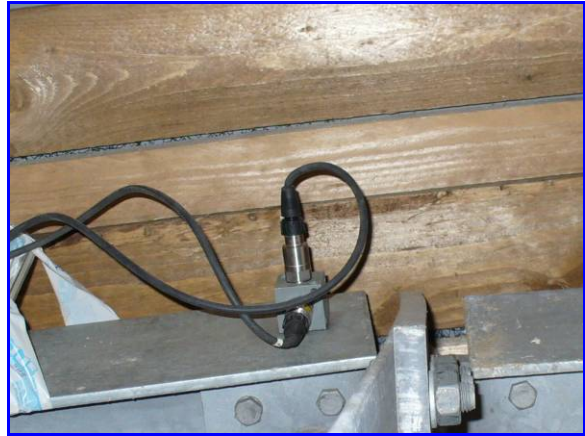
*Schemi di posizionamento sensori sull'ala est*



*Schemi di posizionamento sensori sull'ala ovest*



*Posizione 1*



*Posizione 3*



*Posizione 6*



*Posizione 7*



*Posizione 9*

### 3.3 Acquisizione dei dati

Il segnale è stato acquisito senza nessuna preventiva elaborazione. Il campionamento è stato di 100 Hz.

### 3.4 Modalità di elaborazione

L'elaborazione è avvenuta utilizzando un software dedicato rispettoso delle indicazioni e delle formule riportate nelle norme UNI ISO 5347 e 5348.

In fase di elaborazione dei segnali sono stati memorizzati due files per ognuno dei tiri effettuati; uno per i 16 sensori delle due ali, l'altro per i tre della terna posizionata sull'antenna.

### 3.5 Applicazione degli impulsi

La struttura è stata eccitata con la tecnica dello “strappo di provino” applicando dei tiri verticali ed obliqui alle due ali, utilizzando dei provini calibrati con rottura a forza controllata, realizzati da barre filettate M20 e testati presso il Laboratorio Autorizzato 4 EMME Service Spa di Bolzano.

I tiri verticali sono stati applicati ai nodi centrali della centina 7 ala est e della 11 ala ovest, quelli obliqui, con inclinazione di 20°, al nodo laterale nord della centina 7 ala est e laterale sud della 11 ala ovest, mediante un martinetto da 11 kN.



*Esempio di un tiro verticale con vista dell'ancoraggio alla centina*



*Esempio di un tiro obliquo con vista dell'ancoraggio alla centina*



*Vista del martinetto e del provino calibrato*

Nella tabella seguente è associato al file di acquisizione la tipologia dell'impulso applicato. Il suffisso "a" indica i segnali sui 16 sensori delle ali, il "b" i tre segnali sull'antenna.

*Files di acquisizione*

TIPOLOGIA IMPULSO				Forza di rottura del provino [kN]
Tiro verticale ala est		Tiro verticale ala ovest		
1a	1b	10a	10b	5,0
2a	2b	11a	11b	10,0
3a	3b	12a	12b	20,0
4a	4b	13a	13b	30,0
5a	5b	14a	14b	40,0
6a	6b	15a	15b	50,0
7a	7b	16a	16b	60,0
8a	8b	17a	17b	70,0
9a	9b	18a	18b	80,0
Tiro obliquo ala est		Tiro obliquo ala ovest		Forza di rottura del provino [kN]
19a	19b	28a	28b	
20a	20b	29a	29b	10,6
21a	21b	30a	30b	21,3
22a	22b	31a	31b	31,9
23a	23b	32a	32b	42,6
24a	24b	33a	33b	53,2
25a	25b	34a	34b	63,8
26a	26b	35a	35b	74,5
27a	27b	36a	36b	85,1



*Provini calibrati per i tiri verticali dopo la rottura*



*Provini calibrati per i tiri obliqui dopo la rottura*

#### 4. ANALISI DEI RISULTATI

Tutti i dati sono stati rielaborati in formato ASCII e sono consegnati in allegato alla presente relazione.

Nelle pagine seguenti, per ogni acquisizione sulle ali, sono riportati quattro grafici, che rappresentano:

- l'oscillogramma di acquisizione di tutti i 16 sensori accelerometrici;
- l'oscillogramma dei 4 accelerometri con i segnali più significativi posizionati sull'ala in cui è stato effettuato il tiro, filtrati tramite un filtro passa basso di 10 Hz, e nel cui dominio del tempo si determina la frequenza portante;
- l'oscillogramma dell'accelerometro che presenta l'ampiezza massima dove calcolare spostamento e smorzamento del segnale;
- la distribuzione delle frequenze attraverso l'analisi di Fourier.

Nella parte inferiore di ogni grafico sono riportati i parametri fondamentali di ogni acquisizione, rispettivamente:

- **ampiezza massima:** accelerazione massima registrata dal sensore dopo la rottura del provino calibrato [mm/s<sup>2</sup>];
- **frequenza portante** [Hz];
- **altre frequenze:** valutazione attraverso la trasformata di Fourier delle altre frequenze rilevate nello spettro [Hz];
- **spostamento:** dall'andamento sinusoidale viene calcolato lo spostamento:  
$$s = \frac{a}{\omega^2}$$
dove:  
s = spostamento [mm]  
a = ampiezza dell'accelerazione [mm/s<sup>2</sup>]  
 $\omega$  = pulsazione pari a  $2 \cdot \pi \cdot f$  con  $f$  frequenza portante [Hz];
- **smorzamento:** espresso in funzione del decremento logaritmico relativo tra due picchi distanti  $m$  cicli:

$$\xi = \frac{a_n - a_{n+m}}{2 \cdot \pi \cdot m \cdot a_{n+m}} \cdot 100$$

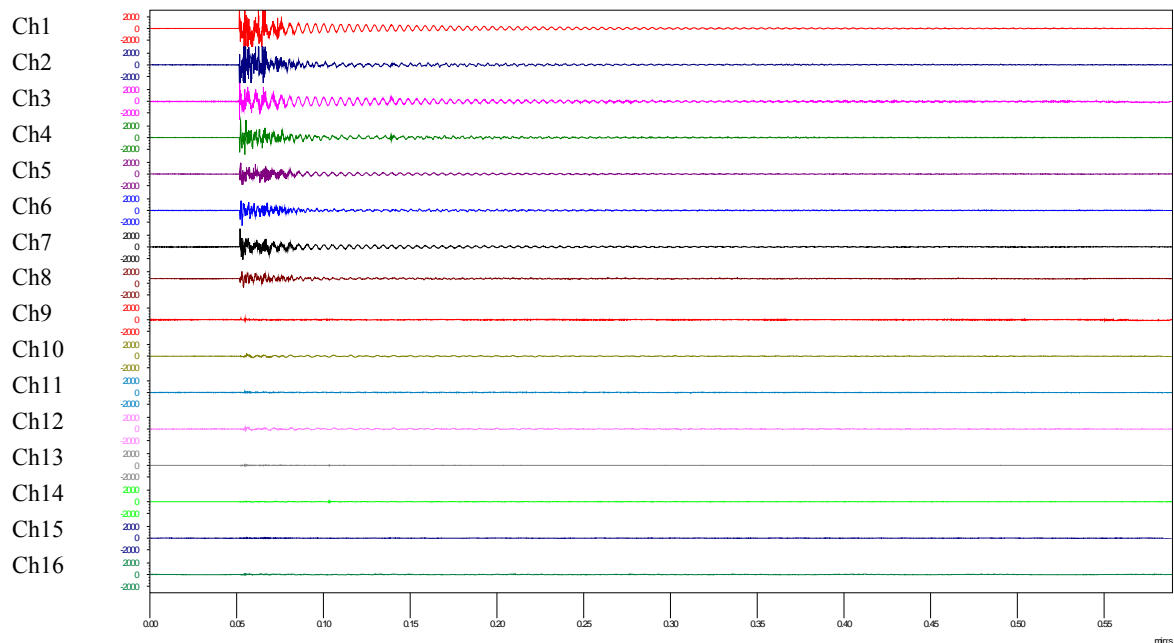
dove:

$\xi$  = smorzamento [%]

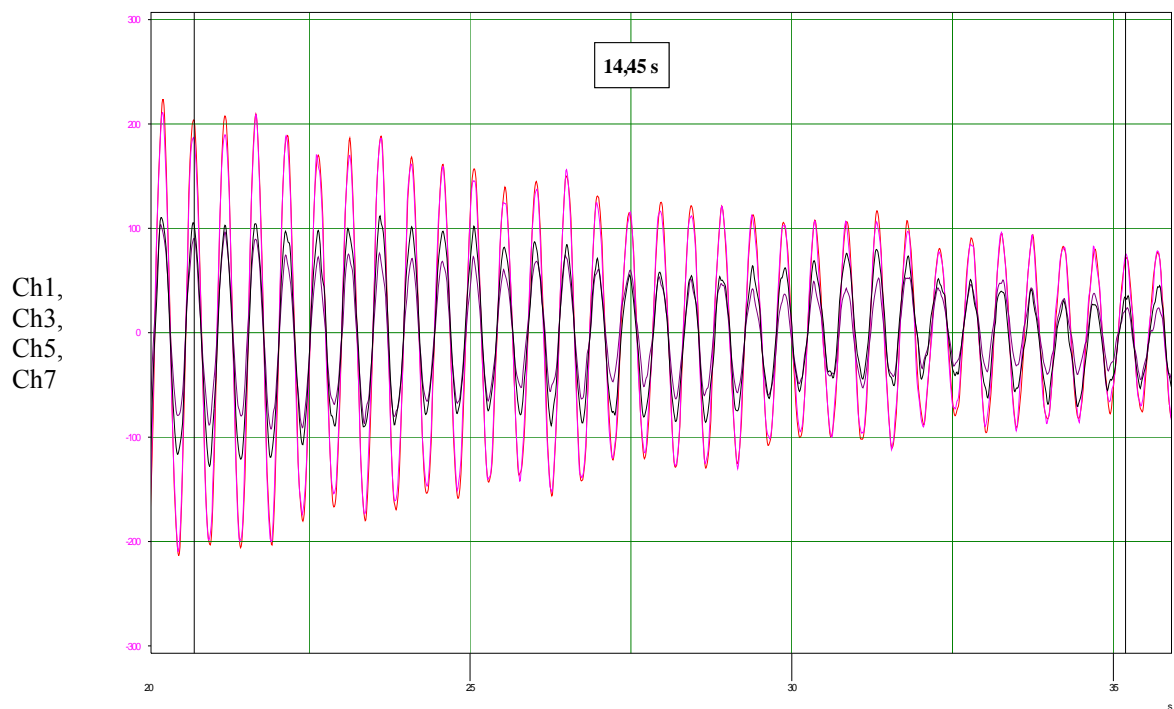
a = ampiezza accelerazione

Di seguito si riporta un esempio esplicativo di un'elaborazione tipo (file 24a).

Il primo grafico rappresenta l'oscillogramma dei 16 sensori accelerometrici. In ascissa il tempo è espresso in secondi, ed in ordinata l'accelerazione è espressa in  $\text{mm/s}^2$ .

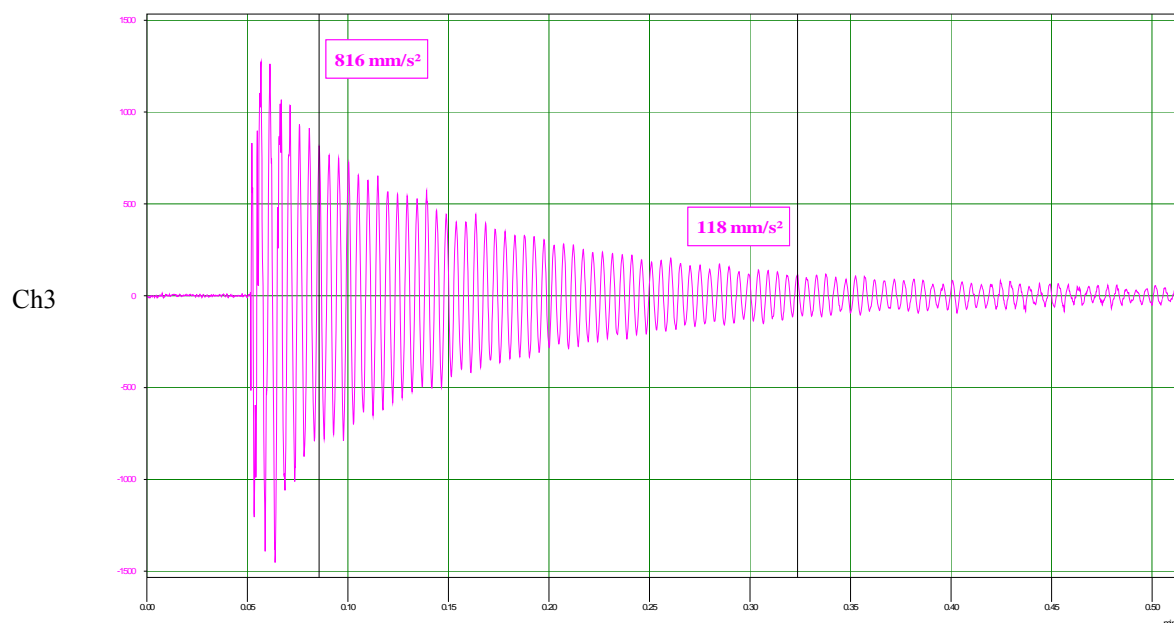


Il grafico successivo, filtrato con un passa basso di 10 Hz, rappresenta l'analisi della frequenza portante sovrapponendo i segnali con ampiezza più significativa. Il canale Ch1, in fase con Ch3, Ch5 e Ch7, presenta in un intervallo di 14,45 secondi 30 oscillazioni, cui corrisponde una frequenza portante pari a  $f = 30 / 14,45 = 2,1 \text{ Hz}$ .

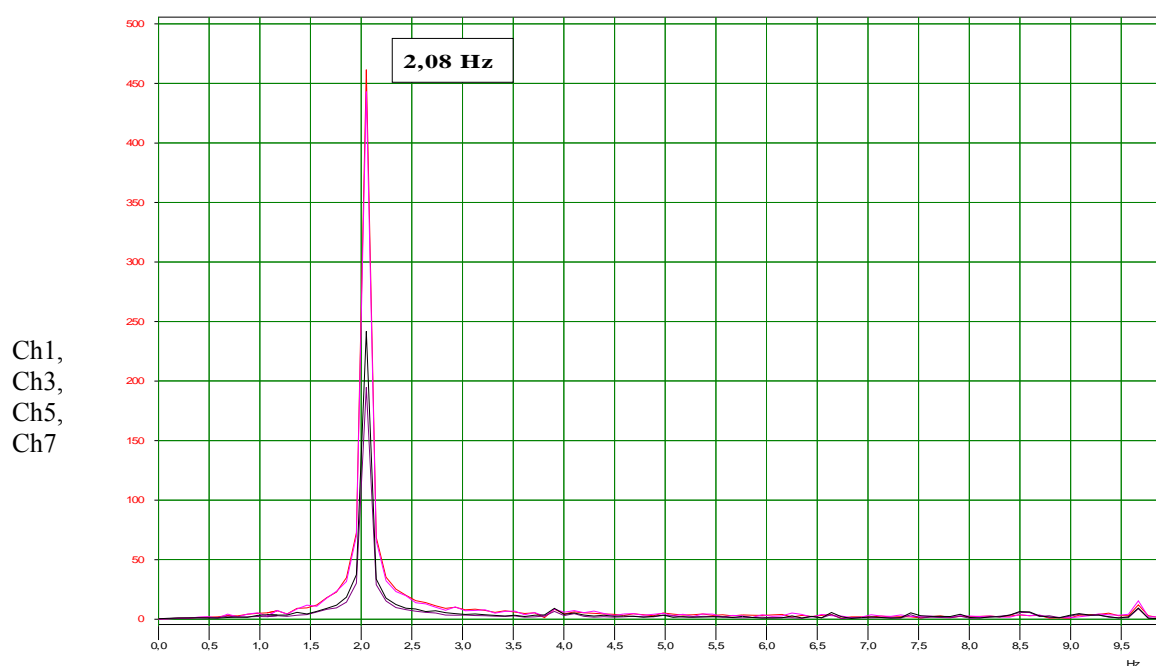




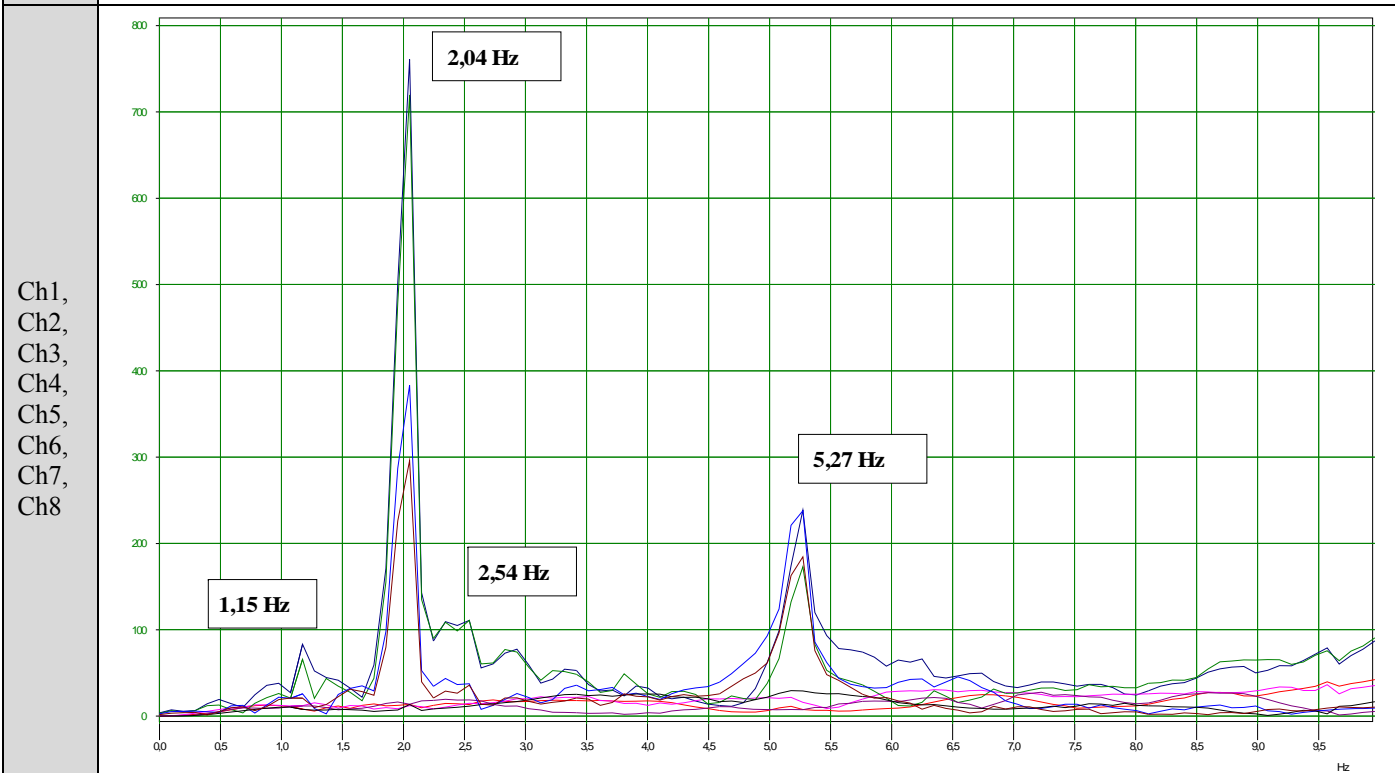
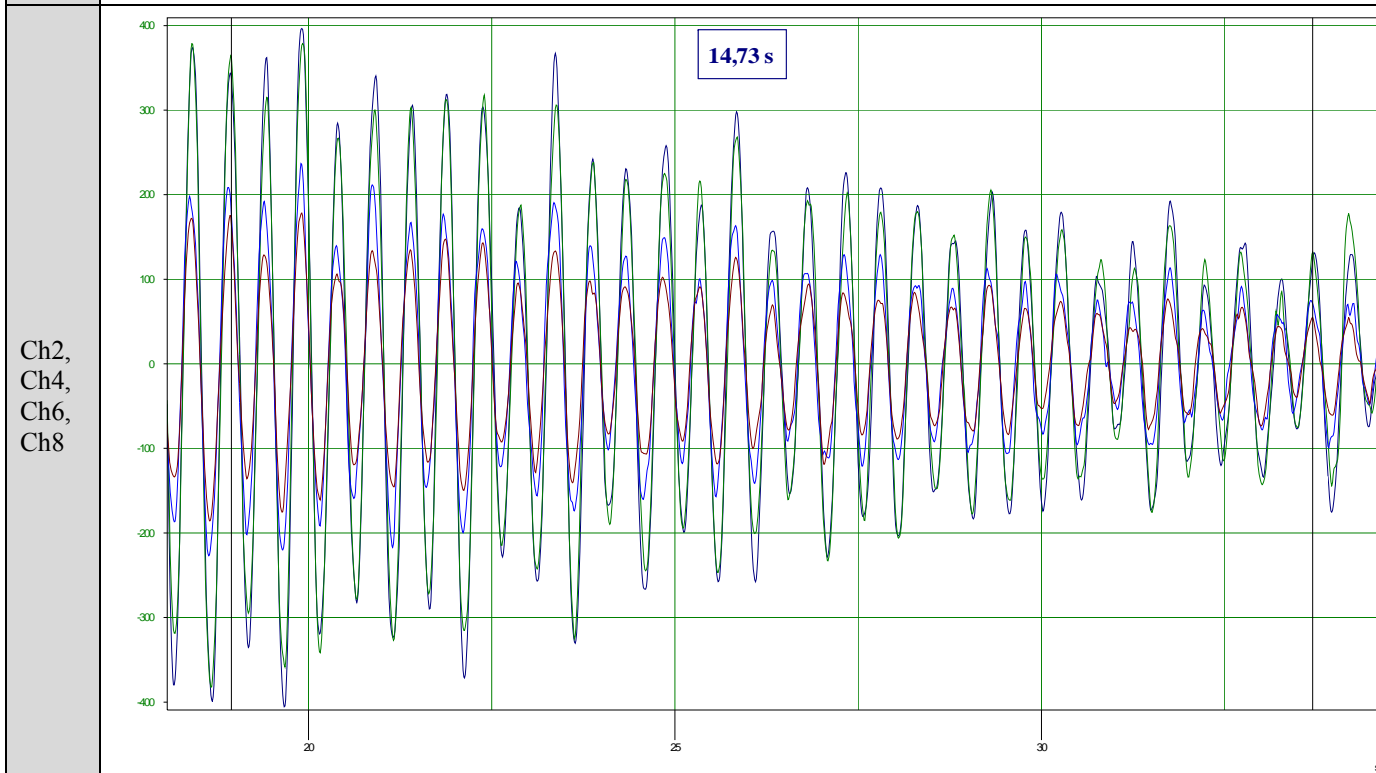
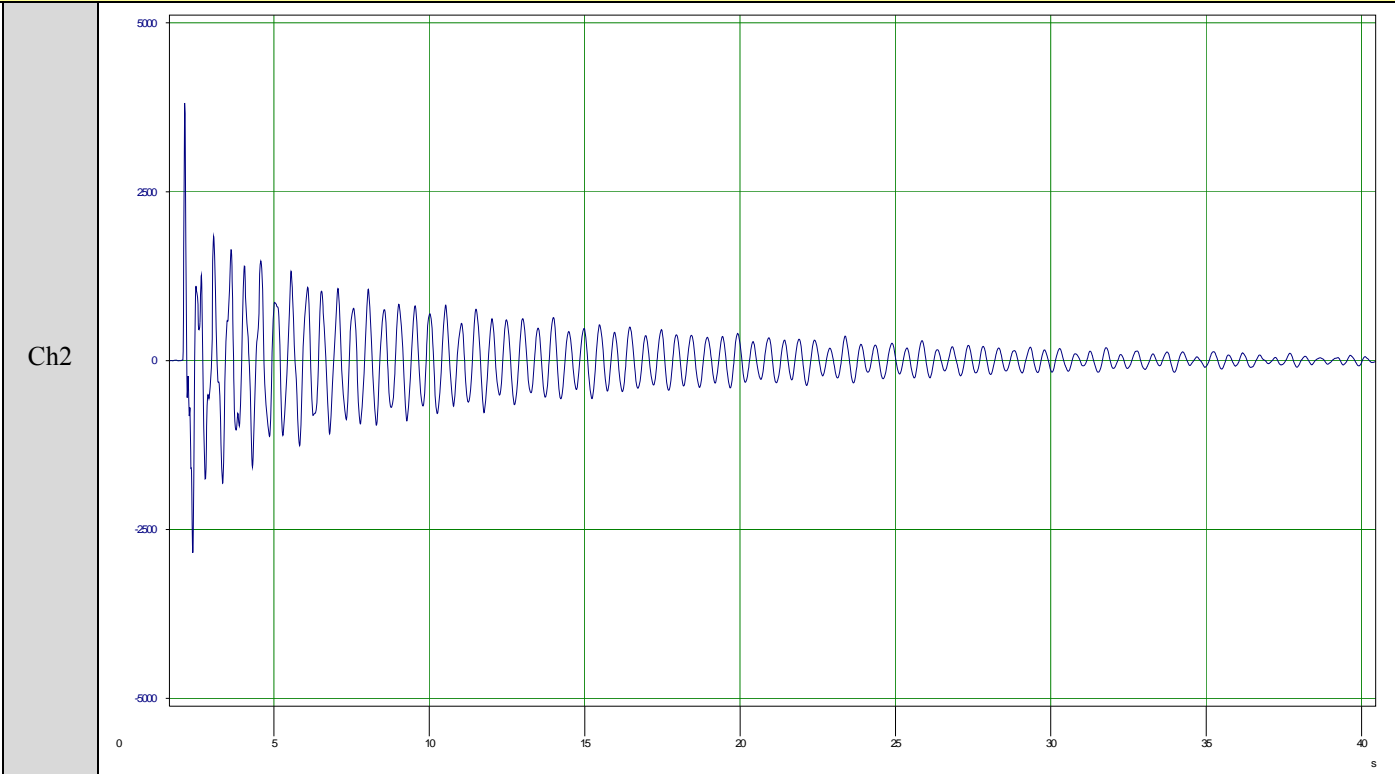
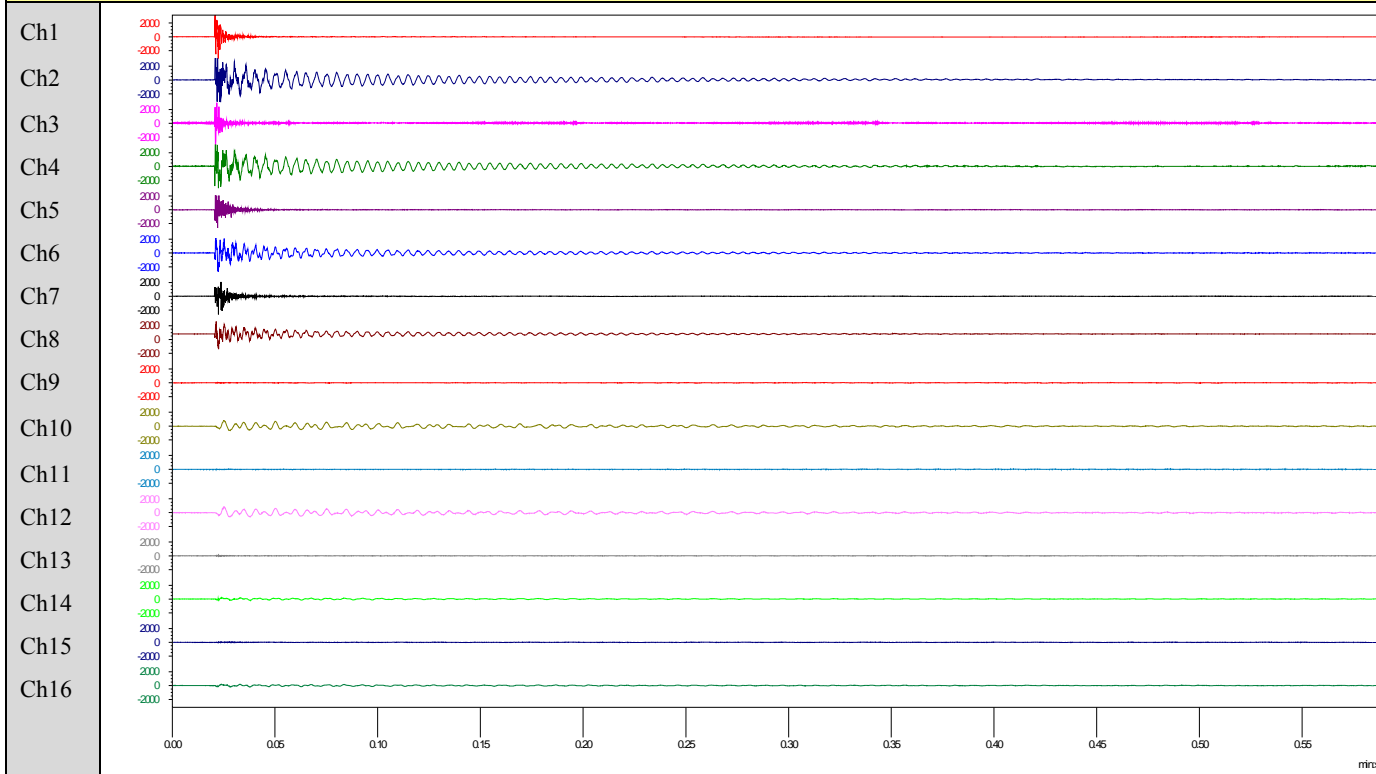
L'ampiezza massima rilevata con questa frequenza, dall'analisi del prossimo grafico, risulta essere pari a **1.334 mm/s<sup>2</sup>**, cui corrisponde uno spostamento massimo pari a  $s = 1.334 / (2 \cdot \pi \cdot 2,1)^2 = 7,8 \text{ mm}$ , dal quale si ricava lo smorzamento pari a  $\xi = 100 \cdot (816 - 118) / (2 \cdot \pi \cdot 49 \cdot 118) = 1,9\%$ .



L'elaborazione nel dominio delle frequenze della stessa acquisizione ci fornisce lo spettro che conferma la frequenza rilevata nel dominio dei tempi.

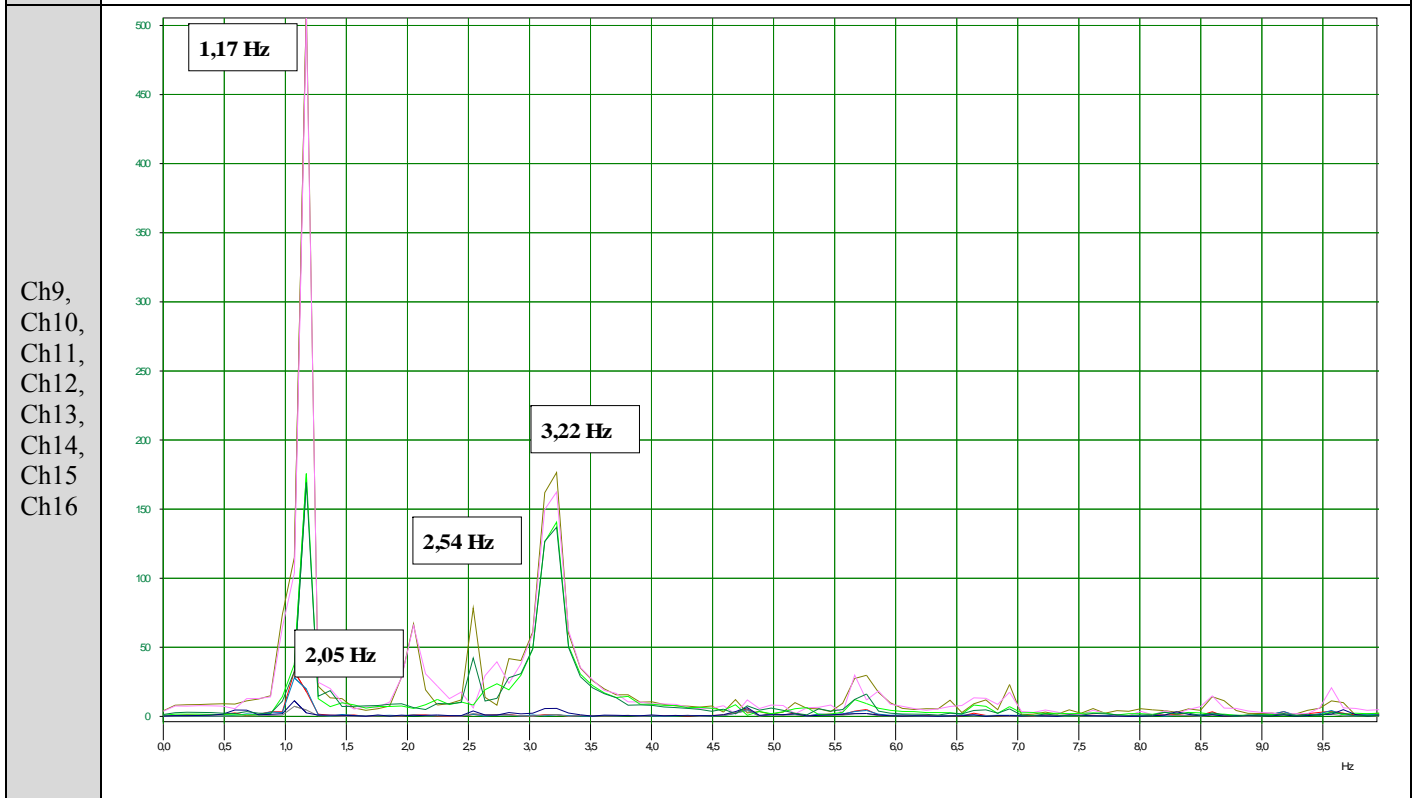
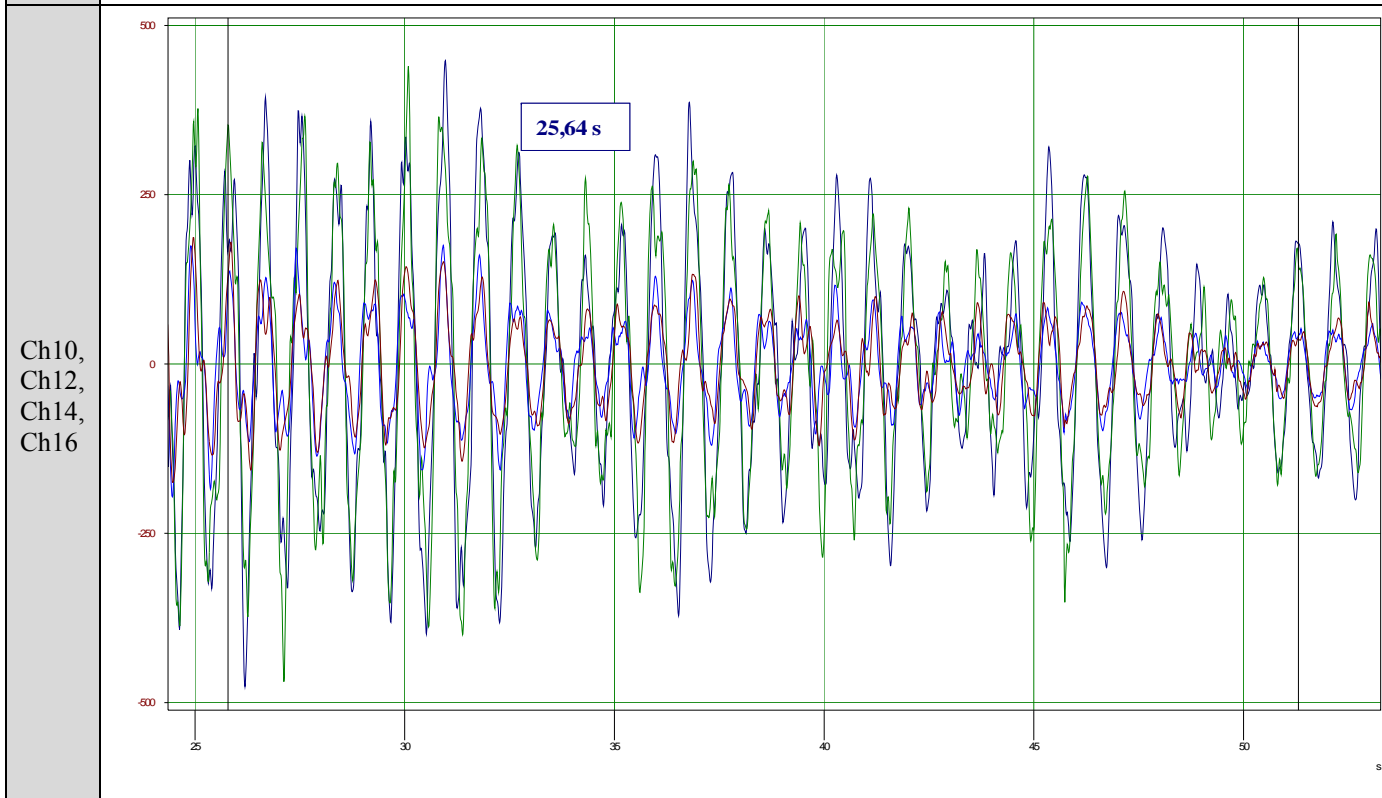
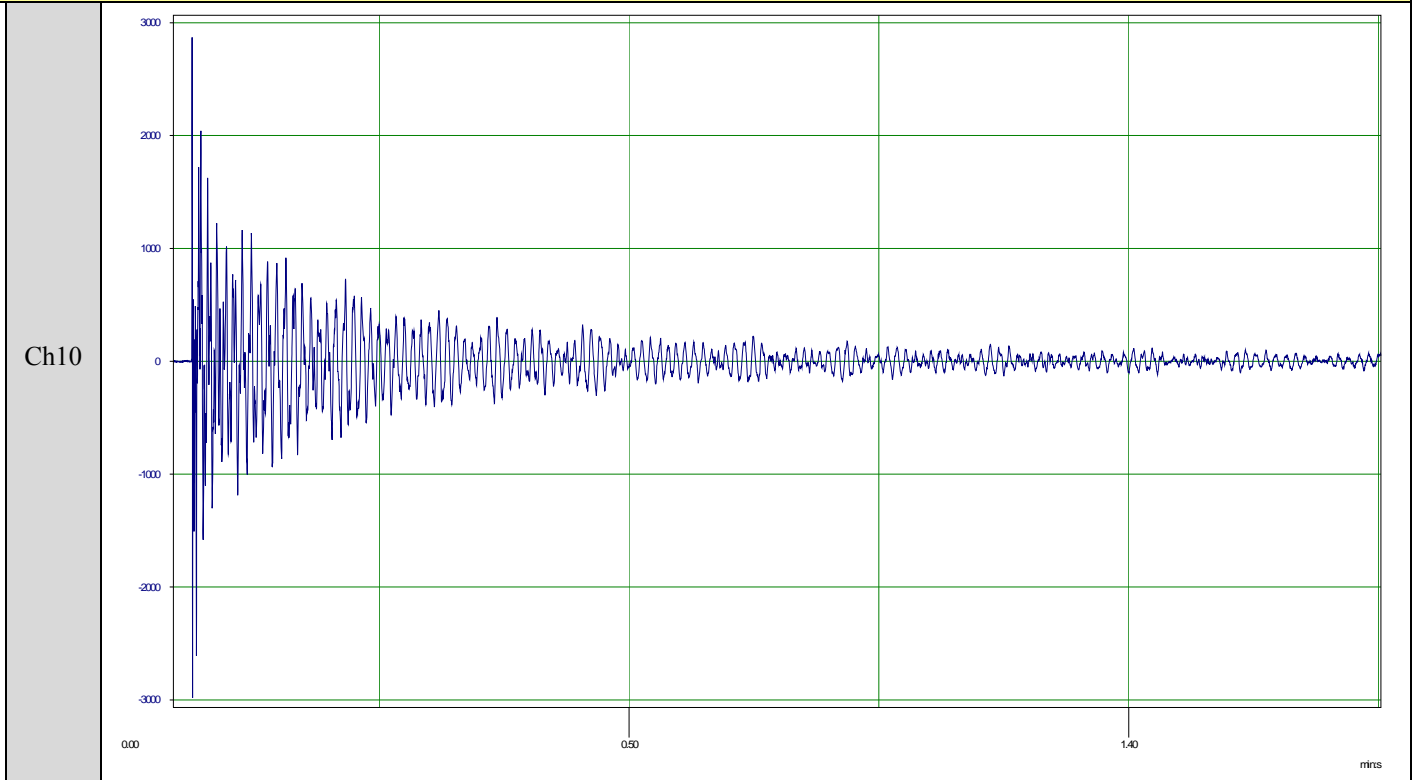
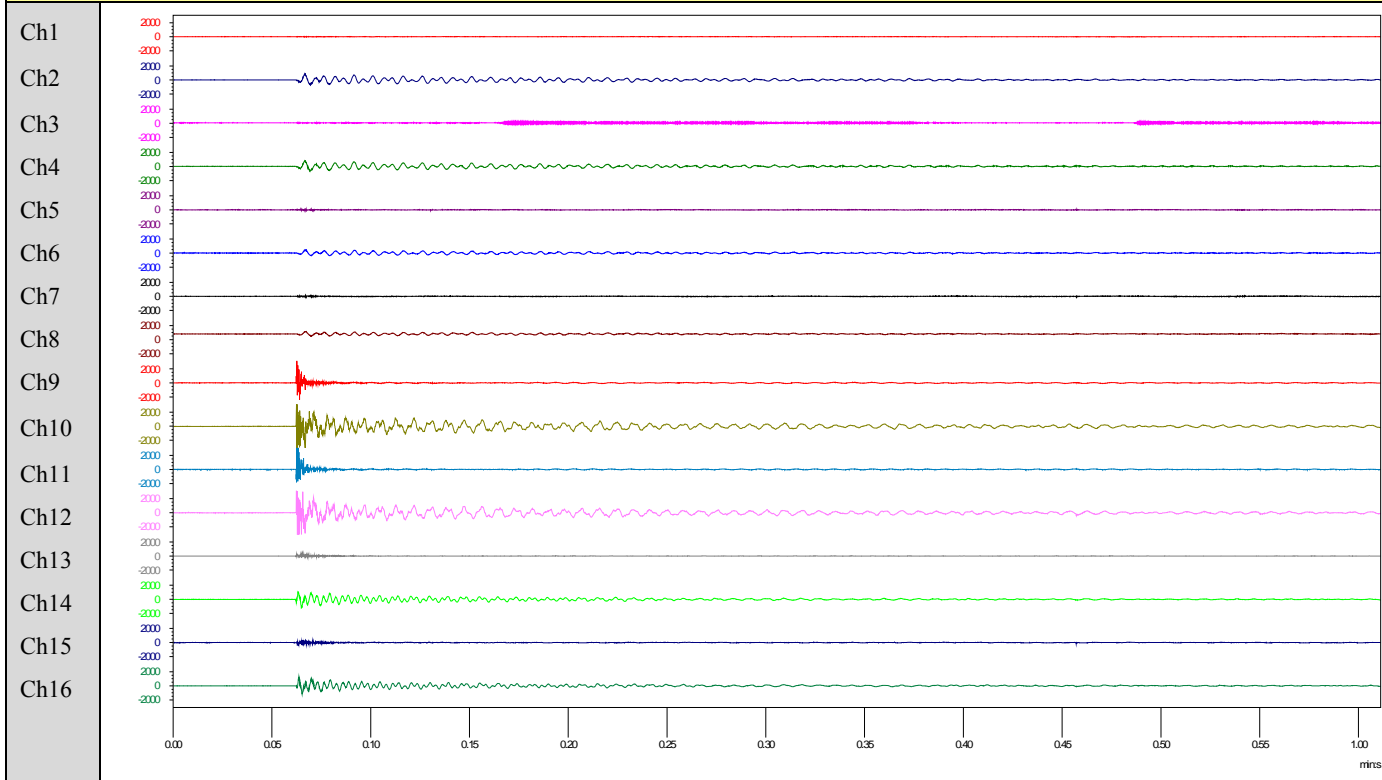


**FILE 9a - TIRO VERTICALE ALA EST – ROTTURA PROVINO DA 80 kN**



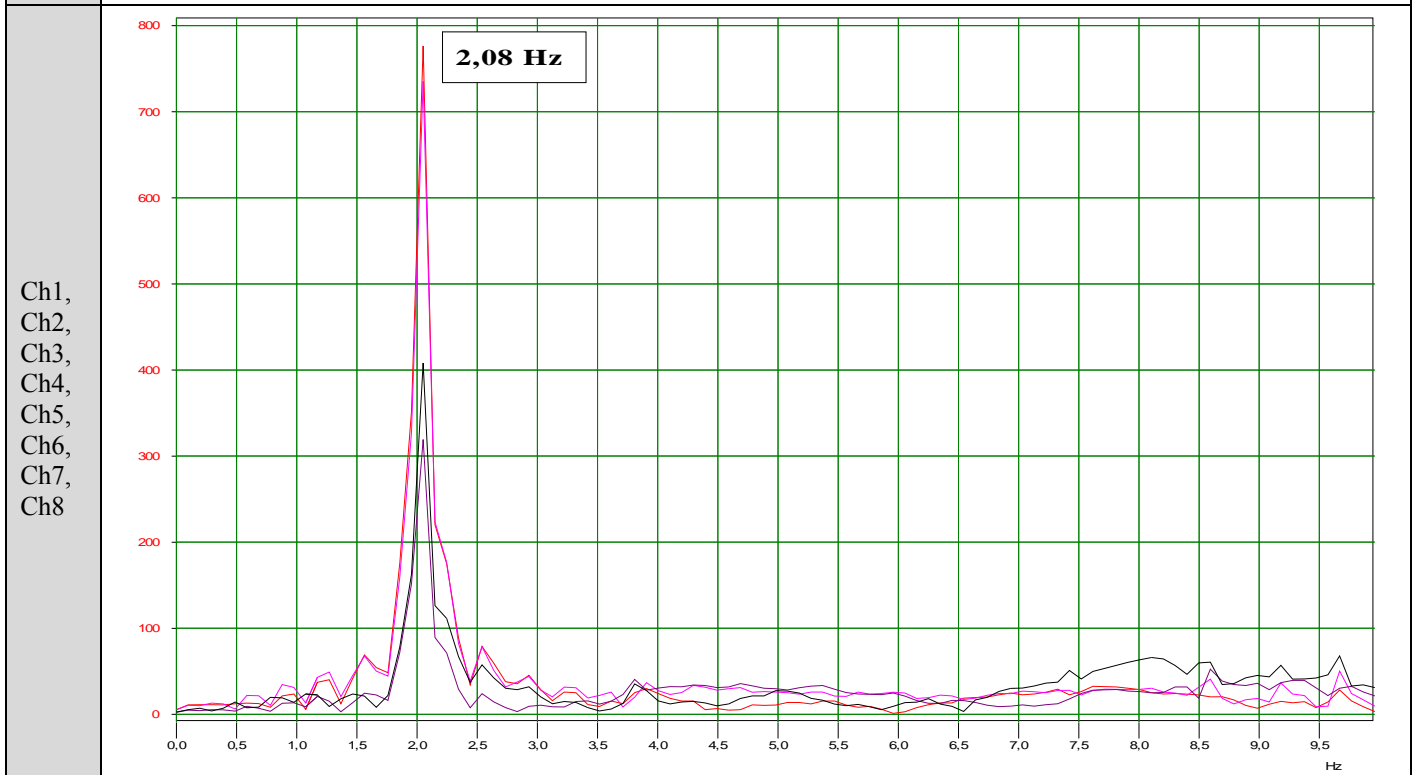
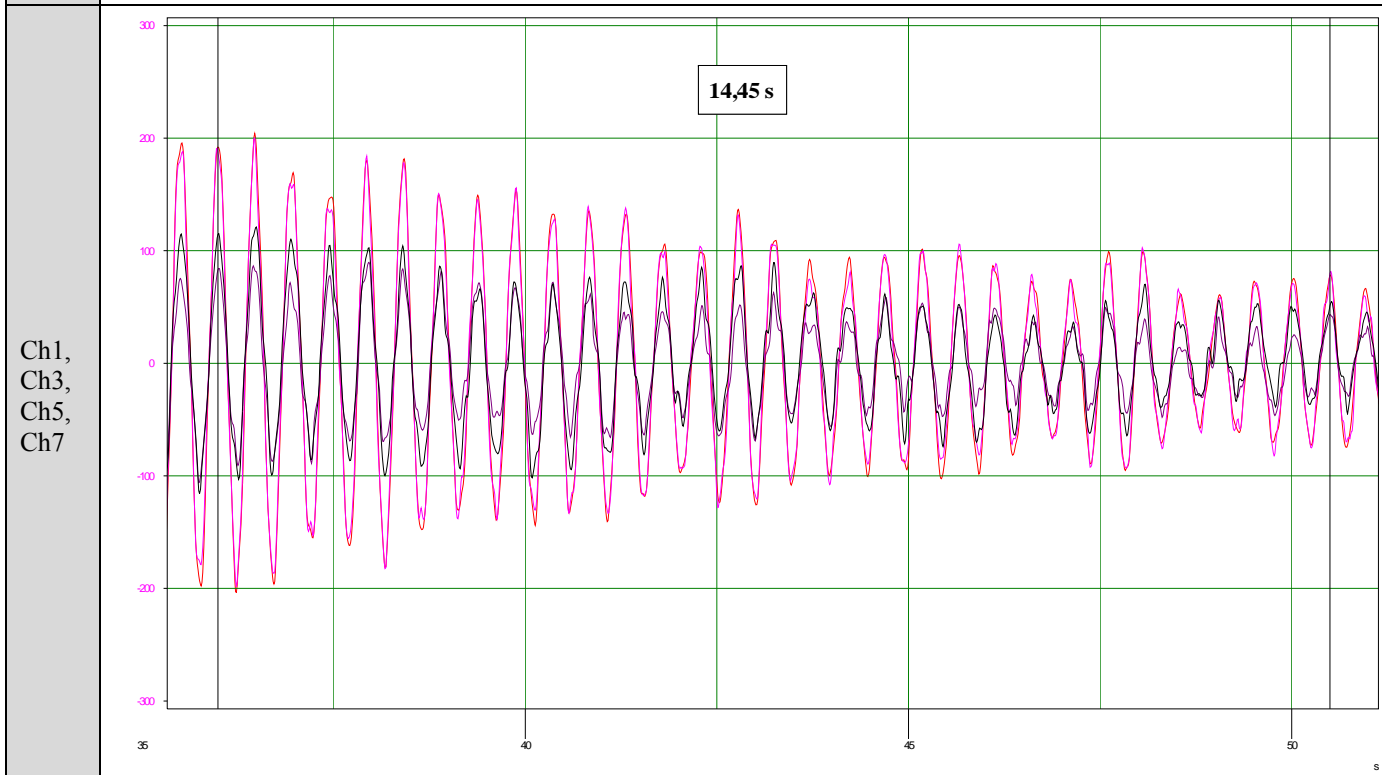
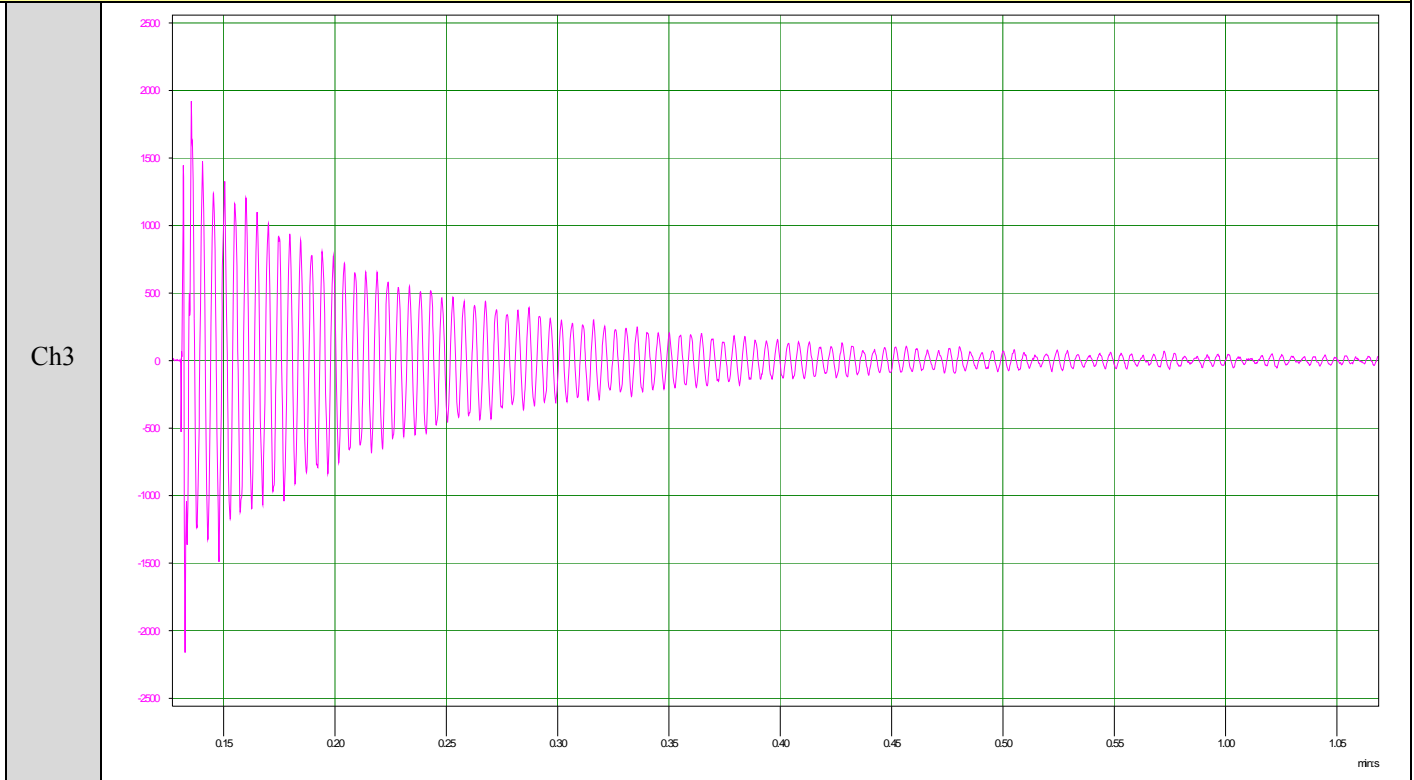
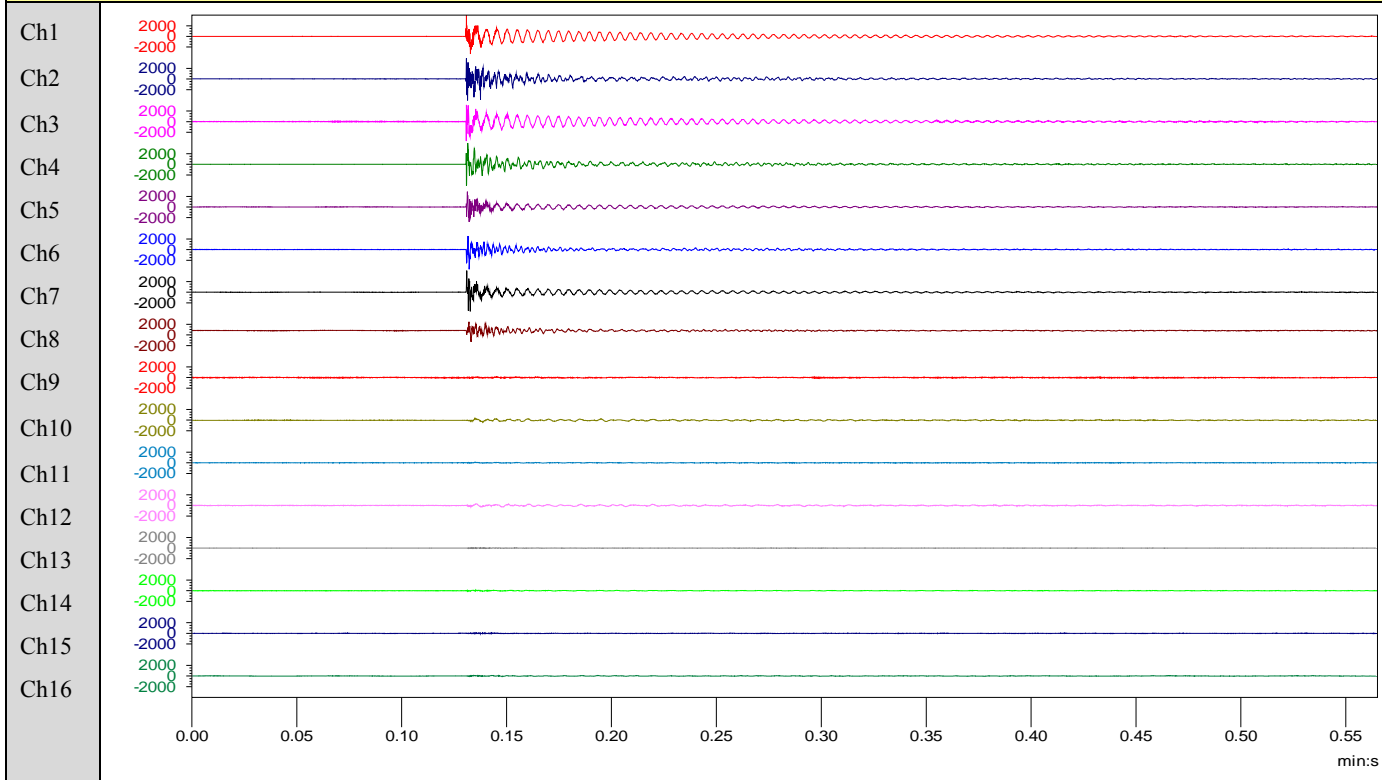
Ampiezza massima [mm/s <sup>2</sup> ]	<b>3230</b>		Spostamento [mm]	<b>19,7</b>	
Frequenza portante [Hz]	<b>2,0 flessionale verticale</b>	Altre frequenze [Hz]	<b>1,1 – 2,5 – 5,3</b>	Smorzamento [%]	<b>2,0</b>

FILE 18a - TIRO VERTICALE ALA OVEST – ROTTURA PROVINO DA 80 kN



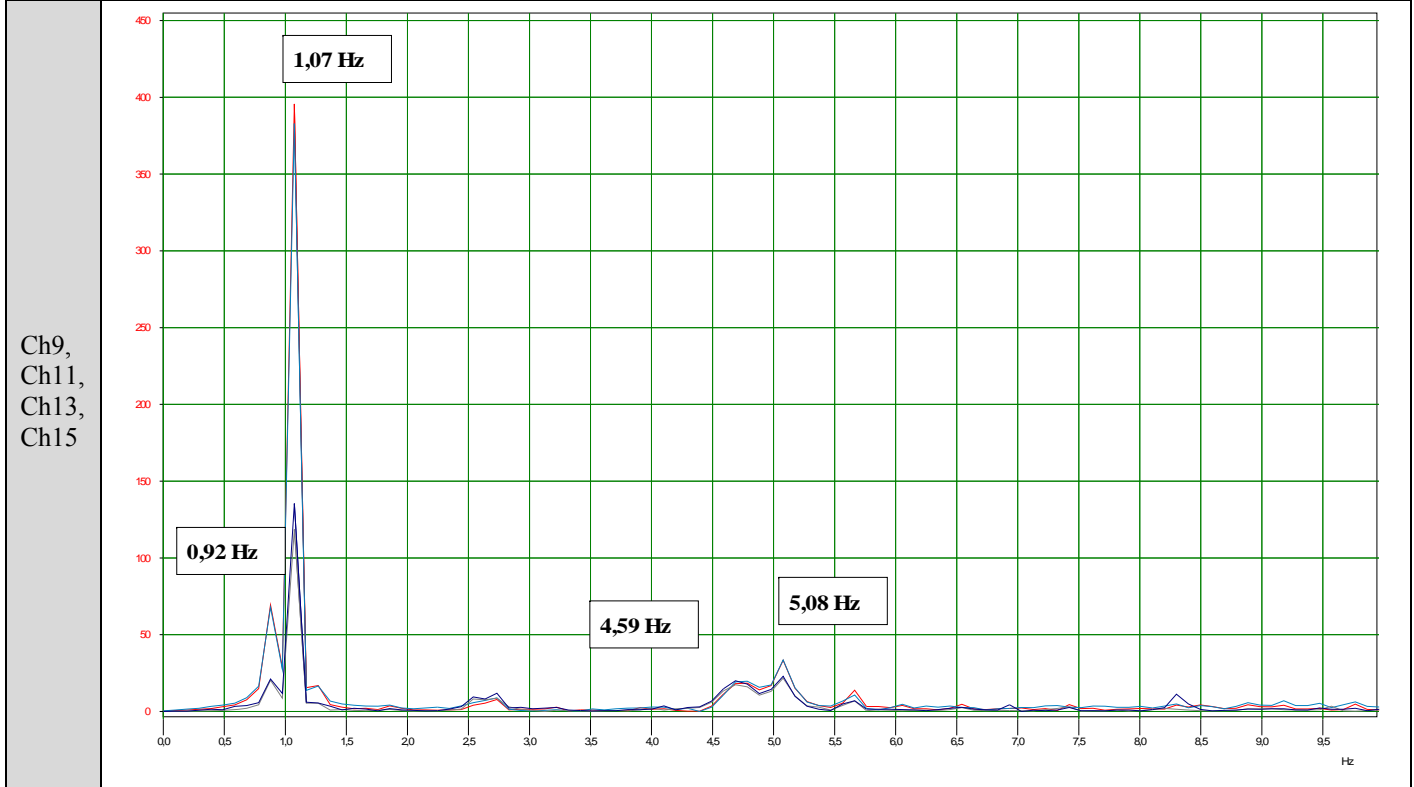
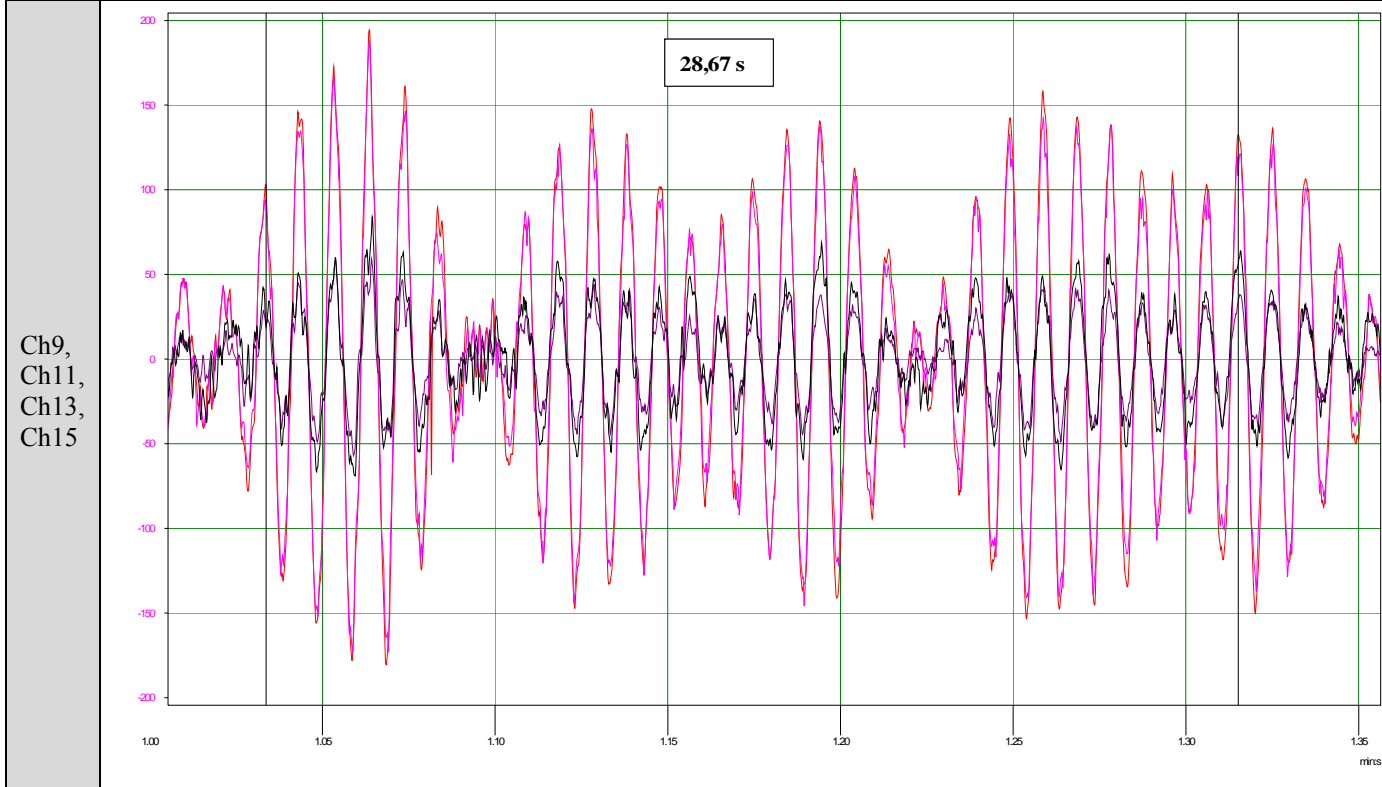
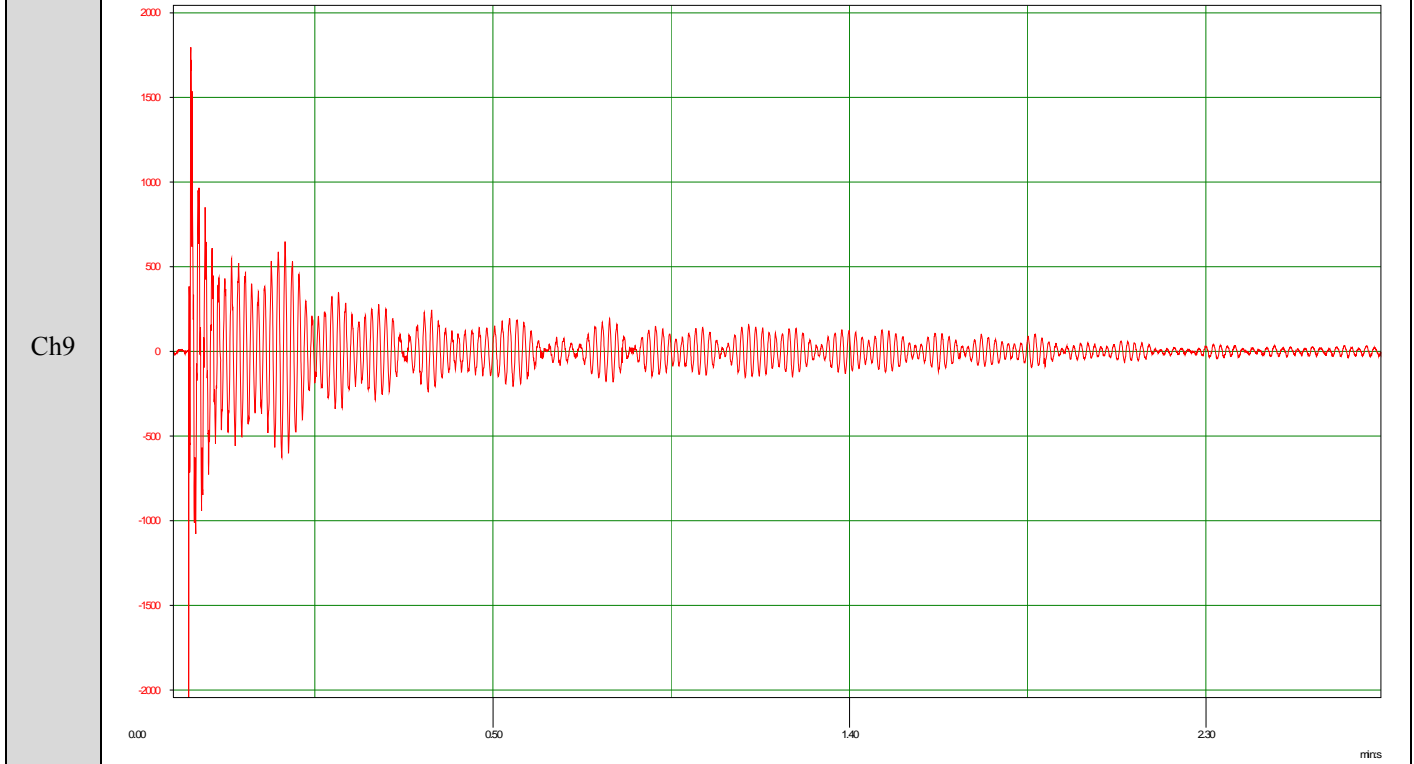
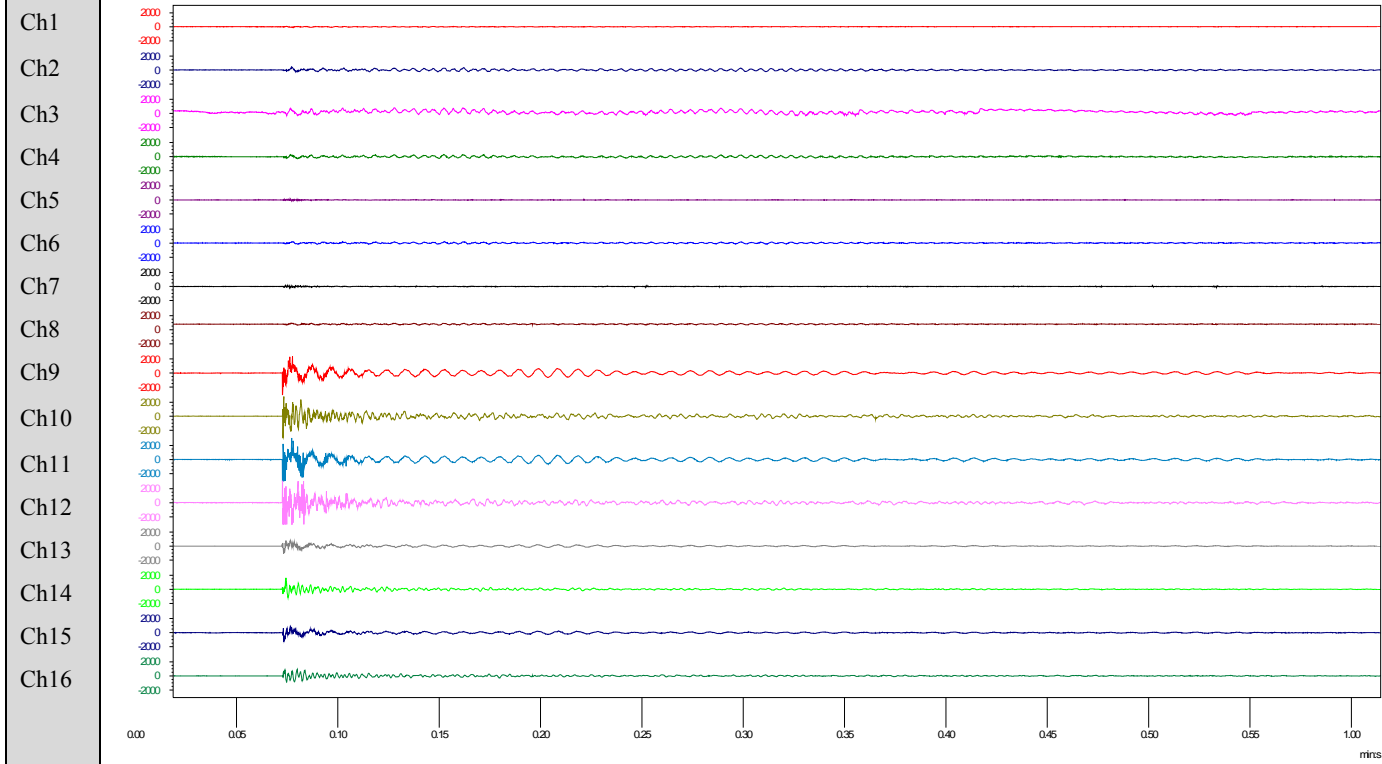
Ampiezza massima [mm/s <sup>2</sup> ]	<b>2810</b>		Spostamento [mm]	<b>52,0</b>	
Frequenza portante [Hz]	<b>1,2 flessionale verticale</b>	Altre frequenze [Hz]	<b>2,0 – 2,5 – 3,2</b>	Smorzamento [%]	<b>2,0</b>

FILE 27a - TIRO OBLIQUO ALA EST – ROTTURA PROVINO DA 85,1kN



Ampiezza massima [mm/s <sup>2</sup> ]	<b>2040</b>		Spostamento [mm]	<b>12,0</b>	
Frequenza portante [Hz]	<b>2,1 trasversale</b>	Altre frequenze [Hz]	–	Smorzamento [%]	<b>1,9</b>

FILE 36a - TIRO OBLIQUO ALA OVEST – ROTTURA PROVINO DA 85,1kN



Ampiezza massima [mm/s <sup>2</sup> ]	<b>1490</b>	Spostamento [mm]	<b>34,5</b>
Frequenza portante [Hz]	<b>1,0</b>	Altre frequenze [Hz]	<b>0,9 – 4,6 – 5,1</b>
		Smorzamento [%]	<b>1,8</b>

## 5. SINTESI DEI RISULTATI

Nella tabella seguente si riporta la sintesi dei risultati ottenuti.

File	$a_{max}$ [mm/s <sup>2</sup> ]	$f$ portante [Hz]	Altre frequenze [Hz]	Spostamento [mm]	Smorzamento [%]	
					singolo	media
1a	231	2,0	1,1 – 5,3	1,4	2,1	2,1
2a	473	2,0		2,9	2,0	
3a	724	2,0		4,4	2,2	
4a	1119	2,0		6,8	2,2	
5a	1510	2,0		9,2	2,0	
6a	1855	2,0	1,1 – 2,5 – 5,3	11,3	2,3	
7a	2180	2,0		13,3	2,1	
8a	2724	2,0		16,7	2,0	
9a	3230	2,0		19,7	2,0	
10a	130	1,2	2,0 – 2,5 – 3,2	2,4	2,1	2,1
11a	270	1,2		5,0	2,0	
12a	590	1,2		10,9	2,2	
13a	890	1,2		16,5	2,1	
14a	1077	1,2		19,9	2,1	
15a	1370	1,2		25,4	1,9	
16a	1610	1,2		29,8	2,0	
17a	1889	1,2		35,0	2,1	
18a	2143	1,2		39,7	1,9	
19a	220	2,1	-	1,3	1,7	1,7
20a	425	2,1		2,5	1,8	
21a	730	2,1		4,3	1,6	
22a	942	2,1		5,5	1,7	
23a	1146	2,1		6,7	1,7	
24a	1334	2,1		7,8	1,9	
25a	1492	2,1		8,8	1,8	
26a	1570	2,1		9,2	1,6	
27a	2040	2,1		12,0	1,9	
28a	75	1,0	4,6	1,7	n.r.	1,7
29a	185	1,0	4,6 – 5,1	4,3	1,6	
30a	272	1,0	4,6	6,3	1,7	
31a	580	1,0	4,6 – 5,1	13,4	1,7	
32a	780	1,0		18,1	1,7	
33a	950	1,0		22,0	1,8	
34a	1120	1,0		25,9	1,6	
35a	1300	1,0		30,1	1,8	
36a	1490	1,0		34,5	1,9	

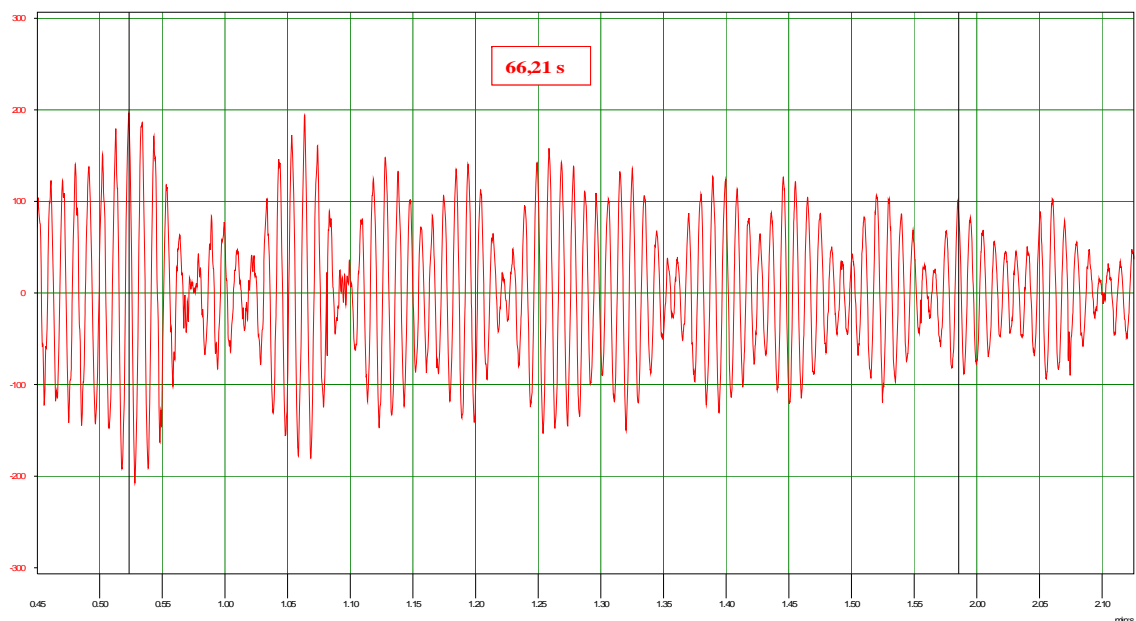
## 6. CONSIDERAZIONI TECNICHE FINALI

Dall'analisi dei risultati si riportano le seguenti considerazioni:

- durante tutte le acquisizioni, sia per tiri verticali sia obliqui, l'antenna centrale non fornisce risposte significative;
- i modi principali di vibrare della struttura sono riportati nella tabella successiva:

MODI DI VIBRARE ALA EST [Hz]						
<i>verticale</i>	<i>verticale</i>	<i>trasversale</i>	<i>verticale</i>	<i>verticale</i>		
<b>1,1</b>	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>	<b>5,3</b>		
MODI DI VIBRARE ALA OVEST [Hz]						
<i>trasvers.</i>	<i>verticale</i>	<i>verticale</i>	<i>verticale</i>	<i>verticale</i>	<i>trasvers.</i>	<i>trasvers.</i>
<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>3,2</b>	<b>4,6</b>	<b>5,1</b>

- su entrambe le ali gli smorzamenti dei segnali si attestano, per i tiri verticali, su valori medi del 2,1%, mentre per i tiri obliqui su una media dell'1,7%;
- sull'ala ovest, quella più lunga, sia per tiri verticali sia obliqui, si riscontra il fenomeno dei battimenti, che rappresentano la presenza di due frequenze strutturali molto vicine. La frequenza dei battimenti è di 0,15 Hz, come riportato nell'oscillogramma seguente del file 36a, dove se ne contano 10 in un intervallo di 66,21 secondi;



- gli spostamenti sono ricavati indirettamente dall'accelerazione.

Orsago, 21 aprile 2009

*4 EMME Service Spa*  
*Dott. Dario Altinier*

Relatori

*ing. Thomas Pavan*

*ing. Maurizio Bruson*

Revisione

*ing. Roberto Bruson*