



## 4 EMME Service S.p.A. Prove in Sito - Laboratorio Prove Materiali

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 - 39100 Bolzano - ITALY  
Tel. 0471/543111 - Fax 543110 [4emme@legalmail.it](mailto:4emme@legalmail.it) [www.4emme.it](http://www.4emme.it)  
Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S

### VERIFICA GENERALE

**PONTE SULLA S.S. 12 – km 512+890**

**PROVINCIA DI BOLZANO**

**Prove nr. 1782/AA**

**Luglio 2017**

Committente:

**PROVINCIA DI BOLZANO**

**Rip.12 Servizio Strade**

Responsabile del procedimento:

**ing. Alberto Lenisa**

Dichiarazione di idoneità statica:

**ing. Settimo Martinello**

Relatori:

**ing. Federico Corazzola**

**ing. Maurizio Bruson**



**Ponte della S.S. 12 – km 512+890 – Provincia di Bolzano**

AA/069/17

Bolzano, 8 settembre 2017

C.F./P.I. IT 01288130212	Cap. Soc. 500.000,00 Euro	R.E.A. - BZ 111601	CASSA CENTRALE RAIFFEISEN BZ IT49 B 03493 11600 000300027138	
Bolzano 0471-543111	Firenze 055-461000	Padova 049-8020707	Torino 011-7706023	<b>Laboratori Autorizzati</b>
Bologna 051-6346808	Genova 010-586195	Palermo 091-6703629	Treviso 0438-990200	Bolzano 0471-543111
Cagliari 070-490732	Milano 02-40092545	Piacenza 0523-755849	Verona 045-8004278	Milano 02-40092545
Como 031-305253	Modena 059-395414	Roma 06-71546992		

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
1.1	Descrizione della struttura .....	5
1.2	Verifica dei disegni.....	5
2	ISPEZIONE VISIVA PRIMARIA .....	5
2.1	Le anomalie riscontrate.....	5
3	INDAGINI SPERIMENTALI.....	30
3.1	Rilievo pacometrico delle armature e scapitozzatura .....	30
3.1.1	Ubicazione delle prove .....	31
3.1.2	Risultati .....	31
3.2	Prove di Pull-Out.....	34
3.2.1	Ubicazione delle prove .....	35
3.2.2	Risultati .....	35
3.3	Carotaggi.....	37
3.3.1	Ubicazione delle prove .....	38
3.3.2	Prove di laboratorio sulle carote di calcestruzzo .....	38
3.3.3	Risultati .....	39
3.4	Determinazione della profondità di carbonatazione del calcestruzzo .....	40
3.4.1	Risultati .....	41
3.5	Misura dello spessore della soletta .....	41
4	CARATTERIZZAZIONE DINAMICA.....	42
4.1	Strumentazione impiegata .....	42
4.2	Posizione degli strumenti .....	42
4.3	Acquisizione dei dati .....	43
4.4	Applicazione degli impulsi .....	43
4.5	Analisi ed elaborazione dei dati.....	43
4.6	Analisi nel dominio dei tempi.....	44
4.7	Analisi con modello geometrico .....	54
5	PROVA DI CARICO STATICÀ DI ANALISI.....	56
5.1	Strumentazione.....	56
5.2	Applicazione del carico .....	56
5.3	Descrizione della prova .....	57
5.4	Risultati.....	58
5.5	Ispezione visiva post prova di carico .....	58

6	SIMULAZIONE NUMERICA.....	59
6.1	Il modello agli elementi finiti .....	60
6.2	Identificazione dinamica.....	60
6.3	Analisi dello stato di deformazione dovuto alla prova di carico di analisi .....	61
6.4	Analisi dello stato di sollecitazione dovuto ai carichi di normativa .....	63
6.4.1	Azioni permanenti.....	63
6.4.2	Azioni variabili da traffico .....	63
6.4.3	Azione variabile del vento .....	64
6.5	Combinazioni di carico .....	64
6.6	Risultati e verifiche.....	65
6.6.1	Risultati .....	66
6.6.2	Verifiche con carichi di I categoria .....	67
6.6.3	Verifiche con carichi di II categoria .....	68
6.6.4	Verifiche con carichi reali.....	69
6.6.5	Verifiche con carichi reali simulando la demolizione di metà impalcato	70
7	CONSIDERAZIONI FINALI .....	72

## ALLEGATI

Certificato di Laboratorio

## 1 PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.A.* specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in situ è stata incaricata dalla **Provincia di Bolzano**, con Decreto nr. 12177/2017 di eseguire una serie di indagini sul ponte in oggetto poter determinare il massimo carico transitabile.

I riferimenti alle posizioni sono quelli che nascono posizionandosi nella direzione della chilometrica crescente con le spalle al chilometro zero; ci saranno quindi destra, sinistra monte e valle

In particolare sono state eseguite:

- verifica in campo dei disegni forniti dalla Committenza;
- ispezione visiva;
- prove pacometriche e scapitozzatura;
- prove di pull-out;
- carotaggi e relative prove di compressione in laboratorio autorizzato;
- determinazione della profondità di carbonatazione del calcestruzzo;
- verifica dello spessore della soletta
- caratterizzazione dinamica;
- prova di carico statica di analisi;
- modellazione numerica calibrata e verifiche di normativa;
- determinazione del carico massimo transitabile.



*Ubicazione del ponte*

Tutte le indagini e le elaborazioni sono state eseguite nel mese di luglio 2017 dal personale della *4 EMME Service S.p.A.* nelle persone dell'ing. Maurizio Bruson, ing. Federico Corazzola, ing. Americo Fallucca, ing. Luca Bertamini, geom. Alessandro Lo Vetro; l'organizzazione generale è stata gestita dall'ing. Roberto Bruson.

## 1.1 Descrizione della struttura

Impalcato:	travi, traversi e soletta in c.a.
Ubicazione:	SS12 – KM 512+890
Nr. campate:	6
Luce campate:	21,0 m
Larghezza impalcato:	11,7 m
Larghezza carreggiata:	10,0 m
Nr. corsie:	2
Protezioni laterali:	barriera stradale a doppia onda con corrimano



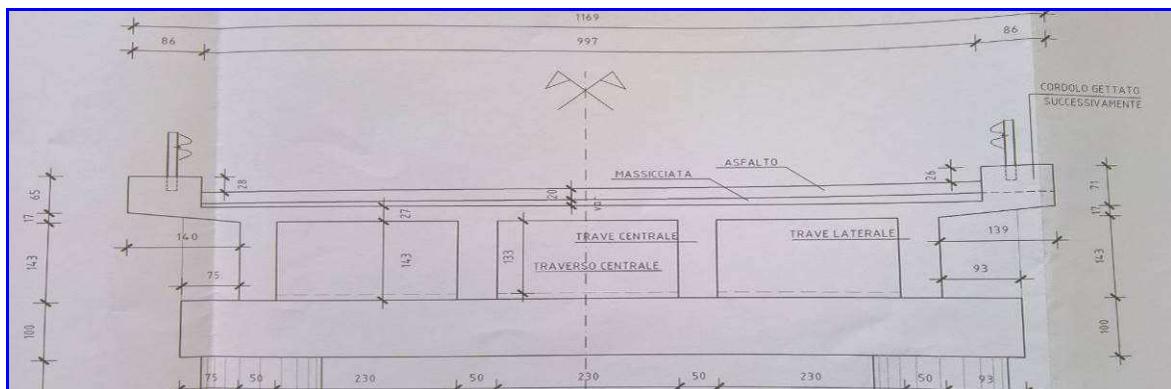
Intradosso



Frontale

## 1.2 Verifica dei disegni

Sono stati verificati i disegni forniti dalla Committenza e gli elaborati sono risultati conformi alle misure eseguite in campo.



Sezione trasversale impalcato

## 2 ISPEZIONE VISIVA PRIMARIA

L'ispezione visiva è stata condotta seguendo le specifiche e le schede del *Manuale per la Valutazione dello stato dei Ponti* – Edizione CIAS.

### 2.1 Le anomalie riscontrate

A seguire i difetti riscontrati sulla struttura e le schede difettologiche estrapolate direttamente dal software Bridge.

## Schede di valutazione

SS12 Km 512+890

N° campate	<b>6</b>
Lunghezza [m]	<b>120,70</b>
Larghezza [m]	<b>12,20</b>
NG = 5	<b>7</b>
Non Conformità (NC)	<b>7</b>
Azioni Preventive (AP)	<b>4</b>
DR	<b>37</b>
DA	<b>468</b>
Completamento %	<b>99</b>



Data ispezione **24/07/2017**

SS12Z50051

Spalle	Spalla di monte	Materiale: Calcestruzzo	N° elementi: 1				
N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC	AP
	X	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0,0	0,0		
1	X	1.2) Macchie di umidità attiva	4	0,5	1,0		
2,3	X	1.3) Cls dilavato/ammalorato	2	0,2	1,0		
4	X	1.4) Vespai	2	0,5	0,5		
5	X	1.5) Distacco del copriferro	2	0,2	1,0		
6	X	1.6) Armatura ossidata	5	0,2	0,5		
	X	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0,0	0,0		
7,8	X	1.14) Fessure orizzontali	2	0,5	0,5		X
9,10	X	1.15) Fessure verticali	2	0,5	0,5		X
	X	1.16) Fessure diagonali	5	0,0	0,0		
	X	1.25) Riprese successive deteriorate	1	0,0	0,0		
	X	1.29) Danni da urto	4	0,0	0,0		
	X	1.30) Danni causati dagli app. d'appoggio	4	0,0	0,0		
	X	5,1) Fuori piombo	5	0,0	0,0		
	X	5,2) Scalzamento	5	0,0	0,0		
11	X	5.3) Dilavamento del rilevato	1	0,5	0,5		
	X	5.4) Dissesto del rilevato	2	0,0	0,0		
	X	5.5) Difetti app. d'appoggio in neoprene	4	0,0	0,0		
	X	5.6) Difetti pendoli	4	0,0	0,0		
	X	5.7) Difetti carrelli	4	0,0	0,0		
	X	5.8) Difetti app. d'appoggio compositi	4	0,0	0,0		



**Foto 1:** in ampie zone sulla spalla di monte, soprattutto in sommità e a sinistra, sono presenti macchie d'umidità.



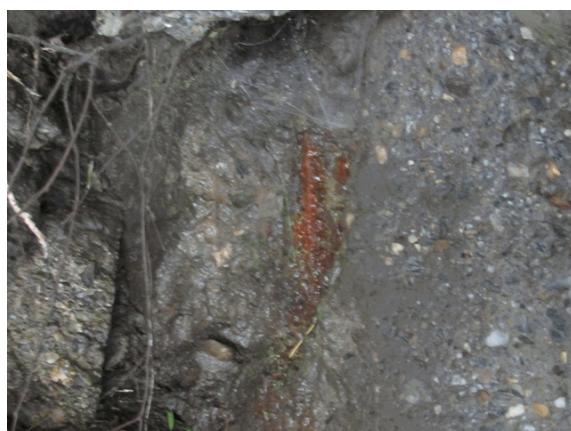
**Foto 2:** in diverse zone della spalla di monte, in particolare verso i bordi il calcestruzzo è completamente dilavato.



**Foto 3:** in alcuni punti della spalla di monte, in particolare alla base e sullo spigolo di sinistra il calcestruzzo risulta ammalorato.



**Foto 4:** in qualche zona della spalla di monte soprattutto al centro e verso destra, sono presenti dei vespaï con inerte in vista.



**Foto 5:** in rare zone sulla spalla di monte in particolare in un punto in sommità verso lo spigolo destro il copriferro risulta distaccato.



**Foto 6:** sulla spalla di monte ove presente il distacco del copriferro si rileva l'ossidazione delle armature affioranti.



**Foto 7:** sulla spalla di monte a 1 m dalla base si osserva una fessura orizzontale estesa per tutta la larghezza con ampiezza massima pari a 2,5 mm.



**Foto 8:** particolare della fessura orizzontale presente sulla spalla di monte con ampiezza massima pari a 2,5 mm.



**Foto 9:** a 1,5 m dallo spigolo sinistro della spalla di monte è presente una fessura verticale a tutta altezza con ampiezza massima di 1,1 mm e un lieve spacciamiento della porzione verso la pila.



**Foto 10:** particolare dell'ampiezza massima rilevata pari a 1,1 mm in corrispondenza della fessura verticale a tutta altezza situata verso il bordo sinistro della spalla di monte.



**Foto 11:** sul lato destro della spalla di monte si osserva il dissesto del rilevato.

Spalle	Spalla di valle	Materiale: Calcestruzzo	N° elementi: 1
--------	-----------------	-------------------------	----------------

N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC	AP
	X	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0,0	0,0		
12	X	1.2) Macchie di umidità attiva	4	1,0	1,0		
13	X	1.3) Cls dilavato/ammalorato	2	1,0	1,0		
	X	1.4) Vespai	2	0,0	0,0		
14	X	1.5) Distacco del copriferro	2	0,5	1,0		
15	X	1.6) Armatura ossidata	5	0,5	0,5		
	X	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0,0	0,0		
	X	1.14) Fessure orizzontali	2	0,0	0,0		
	X	1.15) Fessure verticali	2	0,0	0,0		
	X	1.16) Fessure diagonali	5	0,0	0,0		
	X	1.25) Riprese successive deteriorate	1	0,0	0,0		
	X	1.29) Danni da urto	4	0,0	0,0		
	X	1.30) Danni causati dagli app. d'appoggio	4	0,0	0,0		
	X	5,1) Fuori piombo	5	0,0	0,0		
	X	5,2) Scalzamento	5	0,0	0,0		
16	X	5.3) Dilavamento del rilevato	1	0,5	0,5		
	X	5.4) Dissesto del rilevato	2	0,0	0,0		
	X	5.5) Difetti app. d'appoggio in neoprene	4	0,0	0,0		
	X	5.6) Difetti pendoli	4	0,0	0,0		
	X	5.7) Difetti carrelli	4	0,0	0,0		
	X	5.8) Difetti app. d'appoggio compositi	4	0,0	0,0		
	X	Eventuali note	0	0,0	0,0		



**Foto 12:** ovunque sulla spalla di valle si rilevano macchie di umidità.



**Foto 13:** su tutta la superficie della spalla di valle si osserva il dilavamento del calcestruzzo.



**Foto 14:** in varie zone sulla spalla di valle si nota il distacco del coprifero.



**Foto 15:** sulla spalla di valle ove presente il distacco del coprifero si rilevano armature corrose con sezione resistente intaccata.



**Foto 16:** sul lato sinistro della spalla di valle si osserva il dissesto del rilevato.

Pile	Pilastri		Materiale: Calcestruzzo		N° elementi: 5	
N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC AP
	X	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0,0	0,0	
17	X	1.2) Macchie di umidità attiva	4	0,5	1,0	
18	X	1.3) Cls dilavato/ammalorato	2	0,2	1,0	
19	X	1.4) Vespai	2	0,2	0,5	
20	X	1.5) Distacco del copriferro	2	0,2	1,0	
21	X	1.6) Armatura ossidata	5	0,2	1,0	
	X	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0,0	0,0	
	X	1.14) Fessure orizzontali	2	0,0	0,0	
	X	1.15) Fessure verticali	2	0,0	0,0	
	X	1.16) Fessure diagonali	5	0,0	0,0	
22	X	1.20) Staffe scoperte/ossidate	3	0,2	1,0	
	X	1.21) Lesioni attacco pilastri	2	0,0	0,0	
	X	1.23) Armatura verticale deformata	5	0,0	0,0	
23	X	1.25) Riprese successive deteriorate	1	1,0	1,0	
	X	1.29) Danni da urto	4	0,0	0,0	
	X	1.30) Danni causati dagli app. d'appoggio	4	0,0	0,0	
	X	5,1) Fuori piombo	5	0,0	0,0	
		5,2) Scalzamento	5	0,0	0,0	X
	X	5.5) Difetti app. d'appoggio in neoprene	4	0,0	0,0	
	X	5.6) Difetti pendoli	4	0,0	0,0	
	X	5.7) Difetti carrelli	4	0,0	0,0	
	X	5.8) Danni app. d'appoggio compositi	4	0,0	0,0	
24	X	Eventuali note	0	0,0	0,0	



**Foto 17:** in varie zone su tutti i pilastri delle pile si rilevano macchie di umidità.



**Foto 18:** in alcune zone sparse, in particolare sulle facciate laterali dei pilastri esterni si nota il dilavamento del calcestruzzo.



**Foto 19:** in alcuni punti su tutti i pilastri sono presenti dei vespai con inerte in vista.



**Foto 20:** in qualche zona alla base e più raramente in sommità di tutti i pilastri delle pile il copriferro risulta distaccato.



**Foto 21:** sui pilastri ove presente il distacco del copriferro si riscontrano armature corrosive con la sezione resistente ridotta.



**Foto 22:** sui pilastri delle pile ove presente il distacco del copriferro si rileva la corrosione delle staffe con riduzione della sezione resistente, nel dettaglio il pilastro destro della III pila da monte dove alcuni elementi sono rotti.



**Foto 23:** in rare zone verso la sommità dei pilastri si rilevano riprese successive deteriorate.



**Foto 24:** alla base della IV pila da monte si riscontra la presenza di detriti.

Pile	Pulvini	Materiale: Calcestruzzo	N° elementi:	5			
N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC	AP
	X	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0,0	0,0		
25	X	1.2) Macchie di umidità attiva	4	1,0	1,0		
26	X	1.3) Cls dilavato/ammalorato	2	1,0	1,0		
27	X	1.4) Vespai	2	0,2	0,2		
28	X	1.5) Distacco del copriferro	2	1,0	1,0		
29	X	1.6) Armatura ossidata	5	1,0	1,0	X	
	X	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0,0	0,0		
	X	1.14) Fessure orizzontali	2	0,0	0,0		
30	X	1.15) Fessure verticali	2	0,2	0,2		X
	X	1.16) Fessure diagonali	5	0,0	0,0		
	X	1.20) Staffe scoperte/ossidate	3	0,0	0,0		
	X	1.21) Lesioni attacco pilastri	2	0,0	0,0		
	X	1.23) Armatura verticale deformata	5	0,0	0,0		
	X	1.25) Riprese successive deteriorate	1	0,0	0,0		
	X	1.29) Danni da urto	4	0,0	0,0		
	X	1.30) Danni causati dagli app. d'appoggio	4	0,0	0,0		
	X	5,1) Fuori piombo	5	0,0	0,0		
	X	5,2) Scalzamento	5	0,0	0,0		
	X	5.5) Difetti app. d'appoggio in neoprene	4	0,0	0,0		
	X	5.6) Difetti pendoli	4	0,0	0,0		
	X	5.7) Difetti carrelli	4	0,0	0,0		
	X	5.8) Danni app. d'appoggio compositi	4	0,0	0,0		
	X	Eventuali note	0	0,0	0,0		



**Foto 25:** ovunque sui pulvini delle pile si rilevano macchie di umidità.



**Foto 26:** in ampie zone dei pulvini si osserva il dilavamento del calcestruzzo per fuoriuscita di acqua dalla zona dei giunti.



**Foto 27:** in poche zone dei pulvini si rileva la presenza di vespai di lieve entità.



**Foto 28:** su tutta la superficie dei pulvini, in particolare all'intradosso si osserva il distacco del copriferro.



**Foto 29:** sui pulvini ove presente il distacco del copriferro si rilevano armature corrose e ridotte di sezione.



**Foto 30:** sulla facciata di valle del pulvino della III pila da monte è presente una fessura verticale capillare posta sotto la trave di bordo destro estesa dalla sommità fino a 10 cm dallo spigolo inferiore del pulvino.

## Giunti

## Materiale: Di dilatazione

N° elementi: 5

N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC	AP
	X	5.9) Dislivello giunto-pavimentazione	1	0,0	0,0		
	X	5.10) Massetti lesionati	2	0,0	0,0		
	X	5.11) Distacco tampone	1	0,0	0,0		
31	X	5.12) Deformazione tampone	1	1,0	1,0		
	X	5.13) Ammaloramento profilati	2	0,0	0,0		
32	X	5.14) Scossalina permeabile	2	1,0	1,0	X	
	X	Eventuali note	0	0,0	0,0		



**Foto 31:** su tutti i giunti sottopavimentazione si nota la deformazione dei tamponi.



**Foto 32:** tutte le scossaline risultano assenti.

## Travi-Traversi

## Travi

Materiale: c.a. - c.a.p.

N° elementi: 24

N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC	AP
	X	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0,0	0,0		
33	X	1.2) Macchie di umidità attiva	4	0,5	1,0		
34	X	1.3) Cls dilavato/ammalorato	2	0,5	1,0		
35	X	1.4) Vespai	2	0,2	0,2		
36	X	1.5) Distacco del copriferro	2	0,5	1,0	X	
37	X	1.6) Armatura ossidata	5	0,5	1,0	X	
	X	1.7) Lesioni capillari ancoraggi	1	0,0	0,0		
	X	1.8) Testate di ancoraggio non sigillate	2	0,0	0,0		
	X	1.9) Distacco tamponi testate	1	0,0	0,0		
	X	1.10) Lesioni su anima lungo cavi	2	0,0	0,0		
	X	1.11) Lesioni lungo suola del bulbo	2	0,0	0,0		
	X	1.12) Guaine in vista	2	0,0	0,0		
	X	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0,0	0,0		
	X	1.16) Fessure diagonali	5	0,0	0,0		
	X	1.18) Fessure trasversali	5	0,0	0,0		
	X	1.19) Lesioni/distacco travi-traversi	3	0,0	0,0		
38	X	1.20) Staffe scoperte/ossidate	3	0,5	1,0	X	
	X	1.25) Riprese successive deteriorate	1	0,0	0,0		
	X	1.26) Riduzione armatura di precompr	5	0,0	0,0		
	X	1.27) Umidità dall'interno	2	0,0	0,0		
	X	1.28) Arm. scoperta/ossidata testate	2	0,0	0,0		
	X	1.29) Danni da urto	4	0,0	0,0		
39	X	1.30) Danni causati dagli app. d'appoggio	4	1,0	0,2		
40	X	Eventuali note	0	0,0	0,0		



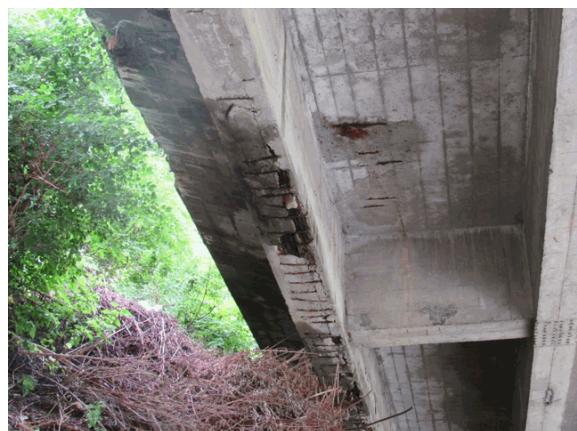
**Foto 33:** in ampie zone sulle travi, in particolare su quelle di bordo di tutte le campate e in corrispondenza degli appoggi su spalle e pile si notano macchie di umidità.



**Foto 35:** in poche zone sparse sulle travi, in particolare su quelle di bordo si rilevano dei vespai di lieve entità.



**Foto 34:** in diverse zone sulle travi in particolare quelle di bordo e agli appoggi su spalle e pile si nota il dilavamento del calcestruzzo.



**Foto 36:** in ampie zone sulle travi, in particolare su quelle di bordo si rileva il distacco del copriferro con pericolo di caduta di porzioni di calcestruzzo sulla strada sottostante, il fenomeno è meno marcato sulle travi centrali.



**Foto 37:** sulle travi, in particolare quelle di bordo ove presente il distacco del copriferro si rilevano armature corrose e ridotte di sezione.



**Foto 38:** all'intradosso di tutte le travi si rilevano staffe scoperte e ossidate.



**Foto 39:** in alcune zone in corrispondenza degli appoggi delle travi sulle pile si rilevano dei danni causati dagli apparecchi d'appoggio, con un lieve degrado del calcestruzzo nella zona interessata.



**Foto 40:** all'intradosso delle travi della IV, V e VI campata da monte si rileva un dislivello.

Travi-Traversi		Traversi	Materiale: c.a. - c.a.p.		N° elementi: 18		
N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC	AP
	X	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0,0	0,0		
41	X	1.2) Macchie di umidità attiva	4	0,5	1,0		
42,43	X	1.3) Cls dilavato/ammalorato	2	0,5	1,0	X	
44	X	1.4) Vespai	2	0,5	0,2		
45	X	1.5) Distacco del copriferro	2	0,2	1,0		
46	X	1.6) Armatura ossidata	5	0,2	1,0		
	X	1.7) Lesioni capillari ancoraggi	1	0,0	0,0		
	X	1.8) Testate di ancoraggio non sigillate	2	0,0	0,0		
	X	1.9) Distacco tamponi testate	1	0,0	0,0		
	X	1.10) Lesioni su anima lungo cavi	2	0,0	0,0		
	X	1.11) Lesioni lungo suola del bulbo	2	0,0	0,0		
	X	1.12) Guaine in vista	2	0,0	0,0		
	X	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0,0	0,0		
	X	1.16) Fessure diagonali	5	0,0	0,0		
	X	1.18) Fessure trasversali	5	0,0	0,0		
	X	1.19) Lesioni/distacco travi-traversi	3	0,0	0,0		
47	X	1.20) Staffe scoperte/ossidata	3	0,2	0,5		
	X	1.25) Riprese successive deteriorate	1	0,0	0,0		
	X	1.26) Riduzione armatura di precompr	5	0,0	0,0		
	X	1.27) Umidità dall'interno	2	0,0	0,0		
	X	1.28) Arm. scoperta/ossidata testate	2	0,0	0,0		
	X	1.29) Danni da urto	4	0,0	0,0		
	X	1.30) Danni causati dagli app. d'appoggio	4	0,0	0,0		
	X	Eventuali note	0	0,0	0,0		



**Foto 41:** in ampie zone su tutti i traversi in modo particolare su quelli in corrispondenza dei giunti si riscontrano macchie di umidità.



**Foto 42:** in diverse zone sui traversi in particolare su quelli posti sotto i giunti e in corrispondenza degli scarichi della soletta il calcestruzzo si presenta dilavato.



**Foto 43:** i traversi posti sotto i giunti risultano ammalorati in diverse zone, in particolare una porzione del I traverso da monte a sinistra risulta completamente mancante.



**Foto 44:** su buona parte dei traversi sono presenti dei vespai di tipo superficiale.



**Foto 45:** nella parte inferiore e all'intadosso dei traversi in particolare su quelli posti su spalle e pile il copriferro risulta distaccato.



**Foto 46:** sui traversi ove presente il distacco del copriferro si rilevano armature corrose e ridotte di sezione.



**Foto 47:** in alcuni punti all'intradosso dei traversi si rilevano staffe scoperte e ossidate.

## Soletta

Materiale: **Calcestruzzo**

N° elementi: 6

N° Foto	Visto	Difetto	G	K1	K2	NC	AP
	X	1.1) Macchie di umidità passiva	1	0,0	0,0		
48	X	1.2) Macchie di umidità attiva	4	1,0	1,0		
49	X	1.3) Cls dilavato/ammalorato	2	0,2	1,0		
50	X	1.4) Vespai	2	0,2	0,5		
51,52	X	1.5) Distacco del copriferro	2	0,2	1,0		
53,54	X	1.6) Armatura ossidata	5	0,2	1,0	X	
	X	1.13) Lesioni a ragnatela modeste	1	0,0	0,0		
	X	1.16) Fessure diagonali	5	0,0	0,0		
	X	1.17) Fessure longitudinali	2	0,0	0,0		
	X	1.18) Fessure trasversali	5	0,0	0,0		
54	X	1.20) Staffe scoperte/ossidate	3	0,2	1,0		
	X	1.22) Lesioni attacco trave-soletta	2	0,0	0,0		
	X	1.25) Riprese successive deteriorate	1	0,0	0,0		
55	X	Eventuali note	0	0,0	0,0		



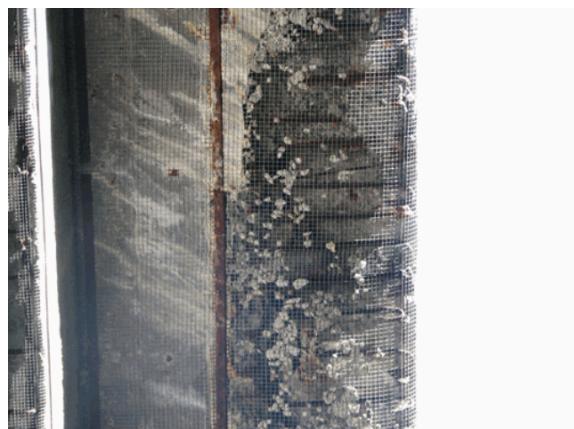
**Foto 48:** ovunque all'intradosso delle solette sono presenti macchie di umidità, in particolare verso i bordi e ove presenti gli scarichi.



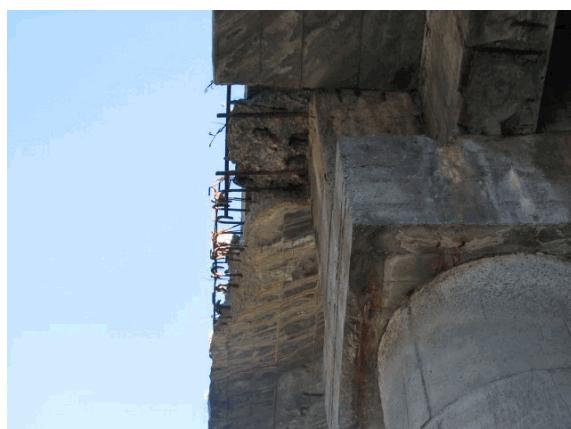
**Foto 49:** sulle facciate laterali e lungo una fascia all'intradosso degli sbalzi laterali della soletta si riscontra il dilavamento del calcestruzzo.



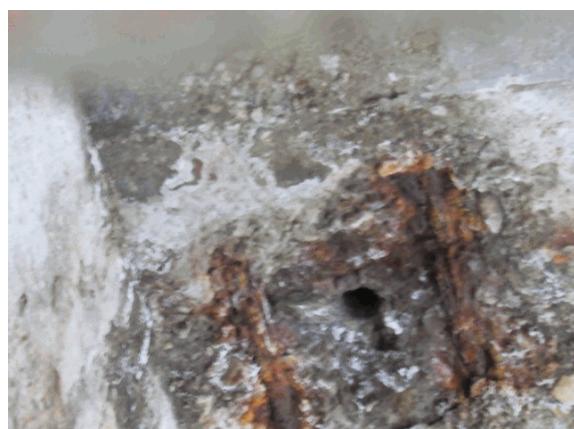
**Foto 50:** in alcuni punti intradossali delle solette sono visibili vespai con inerte in vista.



**Foto 51:** in alcune zone delle solette, soprattutto sugli sbalzi laterali della III e IV campata da monte e in prossimità degli scarichi si notano grandi porzioni di copriferro distaccato con l'armatura affiorante corrosa e ridotta di sezione.



**Foto 52:** particolare di una zona tra la III e IV campata ove si notano grandi porzioni mancanti di calcestruzzo.



**Foto 53:** sulle solette ove presente il distacco del copriferro si notano armature corrosive con sezione resistente ridotta.



**Foto 54:** particolare dall'alto della porzione di soletta poste sul lato sinistro completamente mancanti di cui rimangono unicamente le armature.



**Foto 55:** in corrispondenza del bordo sinistro della IV campata da monte ove si osservano notevoli porzioni di soletta distaccata si rileva la crescita di vegetazione.

**Stato della pavimentazione**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	5.15) Dislivello tra rilevato e impalcato		
	5.16) Presenza dossi pavimentazione		
56,57	5.17) Fessure/anomalie pavimentazione	X	

**Parapetti**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	5.18) Parapetti assenti		
	5.19) Parapetti non a norma		
	5.20) Parapetti danneggiati		

**GuardRail**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	Guardrail assenti		
	5.21) Guardrail danneggiati		
	5.22) Guardrail corrosi		

**Cordoli**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	Cordoli assenti		
58	5.23) Cordoli degradati	X	

**Convogliamento acque**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	5.24) Convogliamento acque assente		
	5.25) Pozzetti intasati		
59	5.26) Scarichi corti	X	
	5.27) Scarichi ostruiti		
	5.28) Scarichi danneggiati		

**Marciapiedi**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	Marciapiedi assenti	X	
	5.29) Difetti pavimentazione marciapiedi		

**Pali di illuminazione**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	Pali illuminazione assenti	X	
	5.30) Pali illuminazione mal ancorati		
	5.32) Pali illuminazione arrugginiti		
	5.31) Pali illuminazione danneggiati		

**Sottoservizi**

N°Foto	Descrizione difetto	NC	AP
	Sottoservizi assenti		
	5.33) Sottoservizi mal ancorati		



**Foto 56:** sulla pavimentazione si rilevano diverse fessure verticali e orizzontali.



**Foto 57:** una fessura longitudinale corre in prossimità di entrambi i bordi della carreggiata per tutta la sua lunghezza, in queste zone si nota la presenza di armatura affiorante.



**Foto 58:** entrambi i cordoli risultano fortemente degradati.



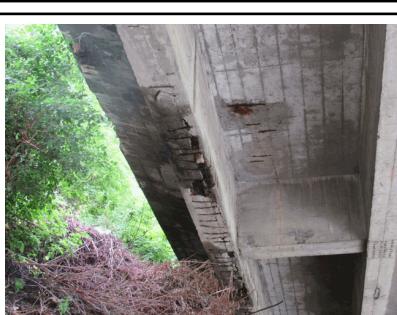
**Foto 59:** tutti gli scarichi all'intradosso sono corti.

### Non Conformità e Azioni Preventive

L'ispezione visiva del ponte ha evidenziato 7 difetti potenzialmente pericolosi con G=5, dei quali solo 3 risultano essere realmente tali e rappresentano parte delle 7 Non Conformità riscontrate.

Si segnala la presenza di 4 Azioni Preventive.

**Non Conformità**

	<p><b>NC 1</b></p> <p>Foto 29: sui pulvini ove presente il distacco del copriferro si rilevano armature corrose e ridotte di sezione.</p>
	<p><b>NC 2</b></p> <p>Foto 32: tutte le scossaline risultano assenti.</p>
	<p><b>NC 3</b></p> <p>Foto 36: in ampie zone sulle travi, in particolare su quelle di bordo si rileva il distacco del copriferro con pericolo di caduta di porzioni di calcestruzzo sulla strada sottostante, il fenomeno è meno marcato sulle travi centrali.</p>
	<p><b>NC 4</b></p> <p>Foto 37: sulle travi, in particolare quelle di bordo ove presente il distacco del copriferro si rilevano armature corrose e ridotte di sezione.</p>
	<p><b>NC 5</b></p> <p>Foto 38: all'intradosso di tutte le travi si rilevano staffe scoperte e ossidate.</p>
	<p><b>NC 6</b></p> <p>Foto 42 e 43: in diverse zone sui traversi in particolare su quelli posti sotto i giunti e in corrispondenza degli scarichi della soletta il calcestruzzo si presenta dilavato.</p>

	NC 7  Foto 53: sulle solette ove presente il distacco del copriferro si notano armature corrose con sezione resistente ridotta.
---	--

**Azioni Preventive**

	AP 1  Foto 7: sulla spalla di monte a 1 m dalla base si osserva una fessura orizzontale estesa per tutta la larghezza con ampiezza massima pari a 2,5 mm. Controllare la fessura ogni 6 mesi per un periodo di 2 anni.
---	--

	AP 2  Foto 9: a 1,5 m dallo spigolo sinistro della spalla di monte è presente una fessura verticale a tutta altezza con ampiezza massima di 1,1 mm e un lieve spaccamento della porzione verso la pila. Controllare la fessura ogni 6 mesi per un periodo di 2 anni.
--	---

	AP 3  Verificare la presenza di un eventuale scalzamento alla base delle pile in alveo nei periodi in cui l'alveo lo consente.
---	--

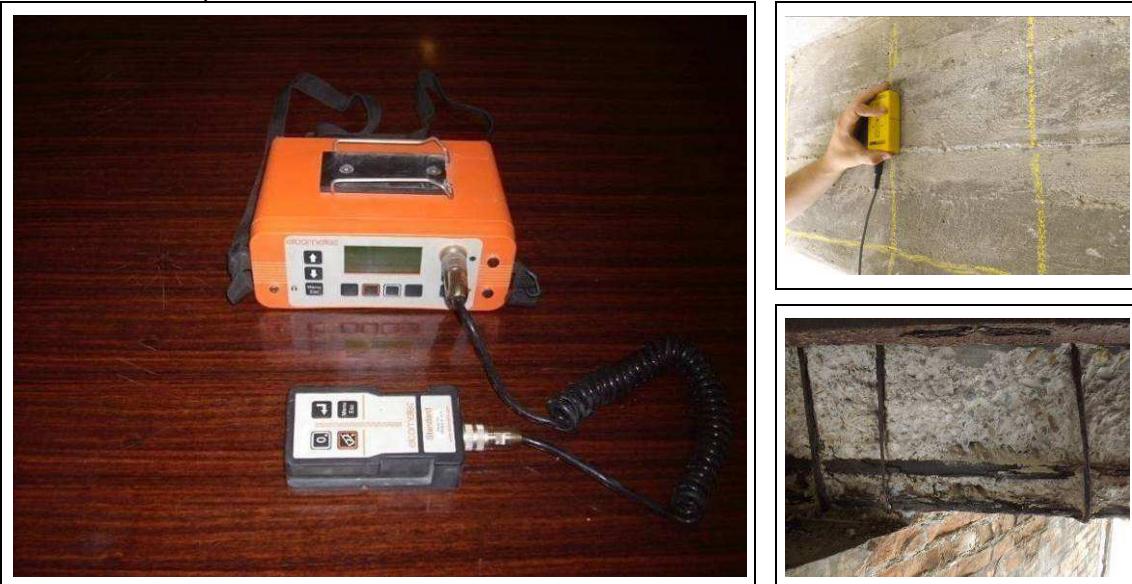
	AP 4  Foto 30: sulla facciata di valle del pulvino della III pila da monte è presente una fessura verticale capillare posta sotto la trave di bordo destro estesa dalla sommità fino a 10 cm dallo spigolo inferiore del pulvino. Controllare la fessura ogni 6 mesi per un periodo di 2 anni.
---	---

### 3 INDAGINI Sperimentali

#### 3.1 Rilievo pacometrico delle armature e scapitozzatura

Con il *pacometro* si determina la posizione delle armature e lo spessore del copriferro facendo scorrere lungo la superficie una sonda emettitrice di campo magnetico collegata ad un'unità di elaborazione digitale ed acustica. Questo tipo di rilevazione è particolarmente utile per l'esecuzione delle altre prove come il carotaggio ed il Pull-out, che necessitano di evitare le armature.

Mediante la *scapitozzatura* si determina il diametro dei ferri.



#### PROCEDURA

- Posizionare la sonda con l'asse longitudinale nella direzione presunta delle barre.
- Muovere la sonda nella direzione presunta delle barre e verificare se è quella effettiva. La sonda infatti emette un segnale di diversa intensità a seconda che il tondino rilevato corra parallelamente alla sonda o perpendicolarmente.
- Accertato di muoversi nella corretta direzione, tracciare, man mano che si scansiona la superficie, la mappa dei ferri di armatura rilevati tramite un gesso colorato.
- Usare le manopole dello strumento per settarlo correttamente e ripassare dove segnato col gessetto per determinare la profondità del copriferro.
- Scapitozzare il c.a. sino a liberare il ferro d'armatura.

- Misurare e annotare il diametro e il copriferro delle armature rilevate.

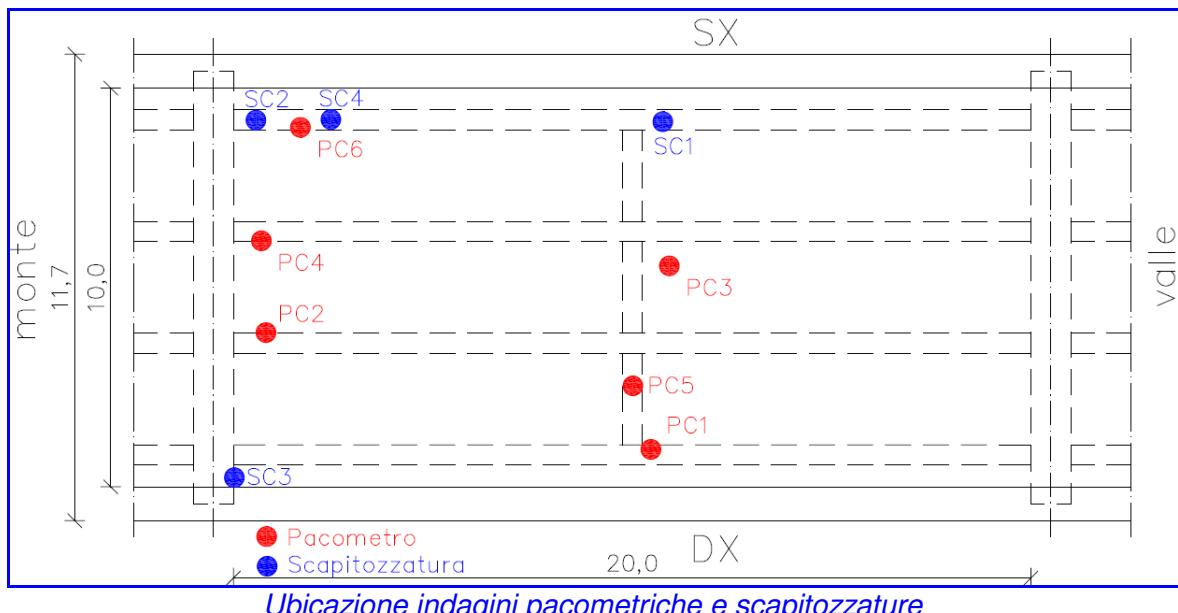
#### RIFERIMENTI

UNI 7997

Bibliografia: (7), (41)

### 3.1.1 Ubicazione delle prove

Sono state eseguite sei indagini pacometriche e quattro scapitozzature sulla III campata da monte e di seguito si riportano i disegni con la posizione dei rilievi.



### 3.1.2 Risultati

#### PC 1 – I trave da destra in mezzeria

Armatura – Barre lisce		Copriferro [mm]	
Trasversale	staffe Ø14 mm / 27 cm	10	
Longitudinale	Ø32 mm	0	

#### PC 2 – II trave da destra all'appoggio

Armatura – Barre lisce		Copriferro [mm]	
Trasversale	staffe Ø14 mm / 24 cm	50	
Longitudinale	Ø32 mm	55	

#### PC 3 – Soletta tra II e III trave da destra

Armatura – Barre lisce		Copriferro [mm]	
Trasversale	Ø12 mm / 25 cm	25	
Longitudinale	2 Ø 20 + 1 Ø 18 /ml	25	

**PC 4 – III trave da destra all'appoggio**

<b>Armatura – Barre lisce</b>		<b>Copriferro [mm]</b>	
Traversale	Longitudinale	50	
	Ø32 mm	55	

**PC 5 – Traverso centrale tra I e II trave da destra**

<b>Armatura – Barre lisce</b>		<b>Copriferro [mm]</b>	
Traversale	Longitudinale	35	
	Ø30 mm	35	

**PC 6 – IV trave da destra all'appoggio**

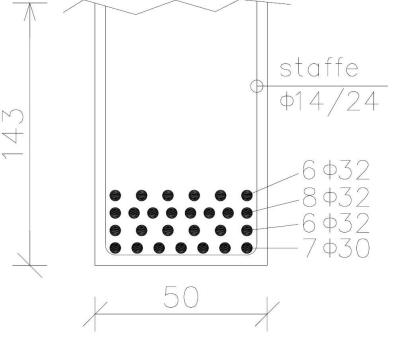
<b>Armatura – Barre lisce</b>		<b>Copriferro [mm]</b>	
Traversale	Longitudinale	50	
	Ø32 mm	55	

**SC 1 – IV trave da destra in mezzeria**

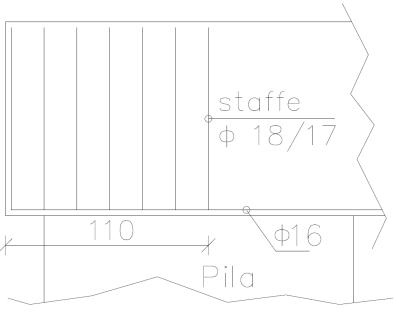
--	--

<b>Armatura – Barre lisce</b>		<b>Copriferro [mm]</b>
Traversale	Longitudinale	0÷10
Staffe Ø14 mm / 27 cm	Ø30 mm – Ø32 mm	

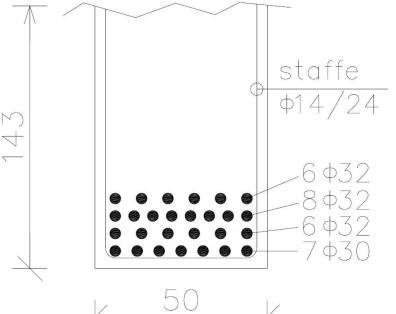
**SC 2 – IV trave da destra all'appoggio**

	
<b>Armatura – Barre lisce</b>	<b>Copriferro [mm]</b>
Trasversale	Staffe Ø14 mm / 24 cm

**SC 3 – Facciata di valle del pulvino verso destra**

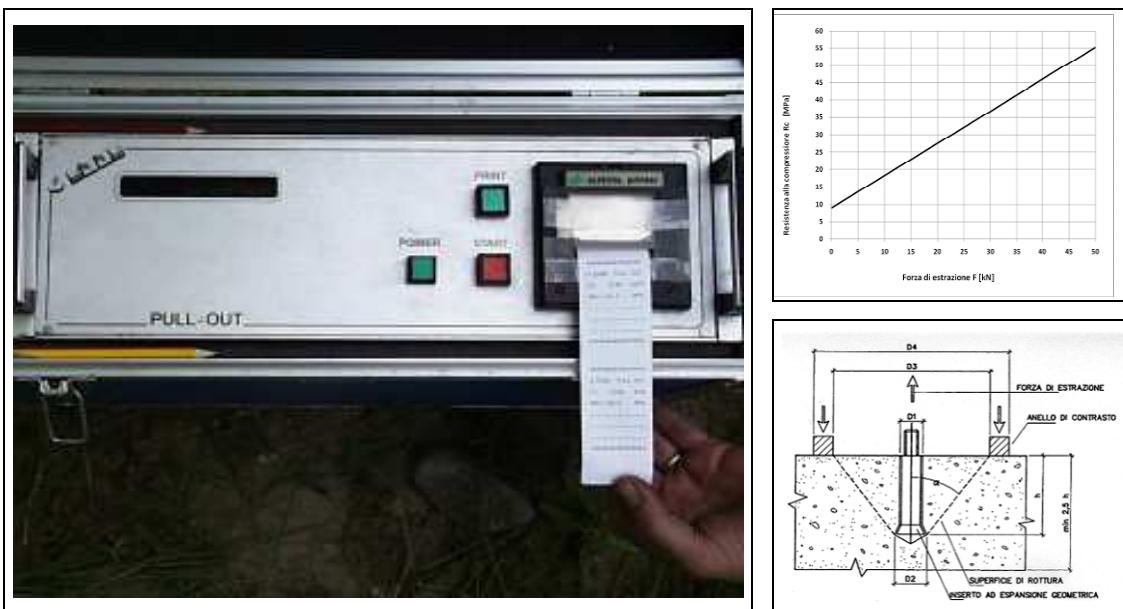
	
<b>Armatura – Barre lisce</b>	<b>Copriferro [mm]</b>
Trasversale	Staffe Ø18 mm / 17 cm

**SC 4 – IV trave da destra a 90 cm dall'appoggio**

	
<b>Armatura – Barre lisce</b>	<b>Copriferro [mm]</b>
Trasversale	Staffe Ø14 mm / 24 cm

### 3.2 Prove di Pull-Out

Questa tecnica di indagine è utilizzata per determinare le proprietà meccaniche del calcestruzzo in opera. Consiste nell'inserire nel calcestruzzo un tassello d'acciaio di forma standard e di estrarlo mediante idonea attrezzatura. Il valore della forza di estrazione, confrontato con una curva di correlazione sperimentale, permette di valutare la resistenza del calcestruzzo.



#### PROCEDURA

- Individuare la presenza di ferri di armatura con Pacometro e segnare la loro presenza con un gesso.
- Liberare le zone scelte dall'intonaco o quant'altro non faccia parte integrante del materiale in esame.
- Effettuare il foro con l'apposita punta svasata in aree senza ferri per un raggio di 5 cm.
- Pulire il foro con getto di aria.
- Inserire il tassello standard,  $h = 40$  mm.
- Ribattere il tassello con il martello e l'opportuno adattatore per farlo aderire perfettamente alle pareti del foro.
- Avvitare il cilindro filettato del martinetto sino a contrasto.
- Attivare l'apparecchiatura di estrazione che produce una forza di tiro con incremento a velocità costante.
- Stampare i risultati e riportare i valori nella scheda di acquisizione di campo.

#### NOTE

- Vanno eseguite almeno tre prove per zona di ottenendo un valore medio di riferimento.
- I tasselli vanno inseriti ad una distanza di circa 20 cm uno dall'altro.
- Lo spessore minimo del calcestruzzo deve essere almeno di 10 cm.
- La distanza minima dai bordi è di 10 cm.
- Conservare lo scontrino stampato per allegarlo nel rapporto finale.

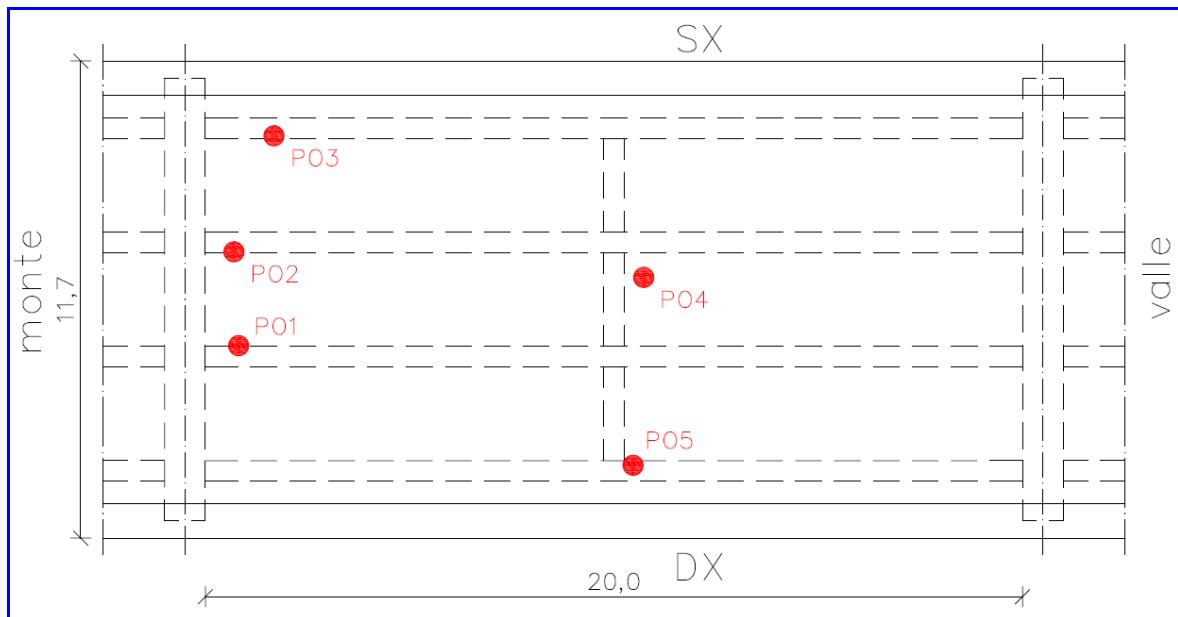
#### RIFERIMENTI

UNI EN 12504-3:2005  
Linee Guida Calcestruzzo Strutturale  
CSLP 2008

*La calibrazione dell'apparecchiatura Pull-out è stata effettuata in data 3 febbraio 2015 e documentata con il rapporto di taratura n. 1157/15.*

### 3.2.1 Ubicazione delle prove

Sono state eseguite 5 indagini pull-out sulla III campata da monte così come riportato nello schema seguente.



*Ubicazione delle prove di pull-out*

### 3.2.2 Risultati

Nelle tabelle a seguire si riportano i risultati delle prove di pull-out.

PO 1	Facciata laterale II trave da destra	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]
1	21,70	29,1
2	17,43	25,1
3	20,24	27,7
<b>Rc media [Mpa]</b>		<b>27,3</b>



PO 2	Facciata laterale III trave da destra	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]
1	17,31	25,0
2	24,38	31,6
3	21,58	29,0
<b>Rc media [Mpa]</b>		<b>28,5</b>



PO 3	Facciata destra trave di bordo sinistro		
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	24,75	31,9	
2	24,26	31,4	
3	18,63	26,2	
<b>Rc media [Mpa]</b>		<b>29,9</b>	

PO 4	Soletta tra II-III trave da destra in adiacenza al traverso centrale		
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	28,65	35,5	
2	34,38	40,8	
3	24,14	31,3	
<b>Rc media [Mpa]</b>		<b>35,9</b>	

PO 5	Facciata sinistra trave di bordo destro		
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	21,70	29,1	
2	19,75	27,3	
3	15,12	23,0	
<b>Rc media [Mpa]</b>		<b>26,4</b>	

Nella tabella successiva la sintesi dei valori rilevati.

Elemento	Sezione	Rc media [MPa]	Rc media per elemento [MPa]
Travi	PO 1	27,3	28,0
	PO 2	28,5	
	PO 3	29,9	
	PO 5	26,4	
Soletta	PO 4	35,9	<b>35,9</b>

### 3.3 Carotaggi

Lo scopo di questa indagine è di fornire al laboratorio il provino da sottoporre a prova di compressione per determinare la R.m.c. e verificare, ed eventualmente correggere, i risultati ottenuti con metodi non distruttivi.

Dalla prova sulla carota si potrà ricavare il modulo elastico e lo spessore della carbonatazione.



#### PROCEDURA

- Il punto di carotaggio deve essere verificato con il pacometro per evitare di tagliare armature fondamentali, cavi elettrici o telefonici. Nel caso venga riscontrata la presenza di un elemento estraneo al calcestruzzo, e non individuato precedentemente, la prova va interrotta.
- La strumentazione utilizzata è un carotatore di diametro 92 o 112 mm.
- Scegliere l'utensile necessario per il carotaggio con un diametro pari ad almeno tre volte il diametro massimo dell'inerte. E' importante che la lama della carota sia perfettamente affilata per evitare pericolose vibrazioni.
- La carotatrice va fissata con accuratezza e perfettamente ortogonale alla superficie di lavoro.
- Va sempre previsto il tubo per l'acqua di raffreddamento e l'aspiratore del fango di taglio.

- Una volta terminato il prelievo fotografare la carota su un piano di colore neutro insieme ad un foglio di carta ove sia indicata la posizione di estrazione ed un doppio decimetro affiancato alla carota.

#### NOTE

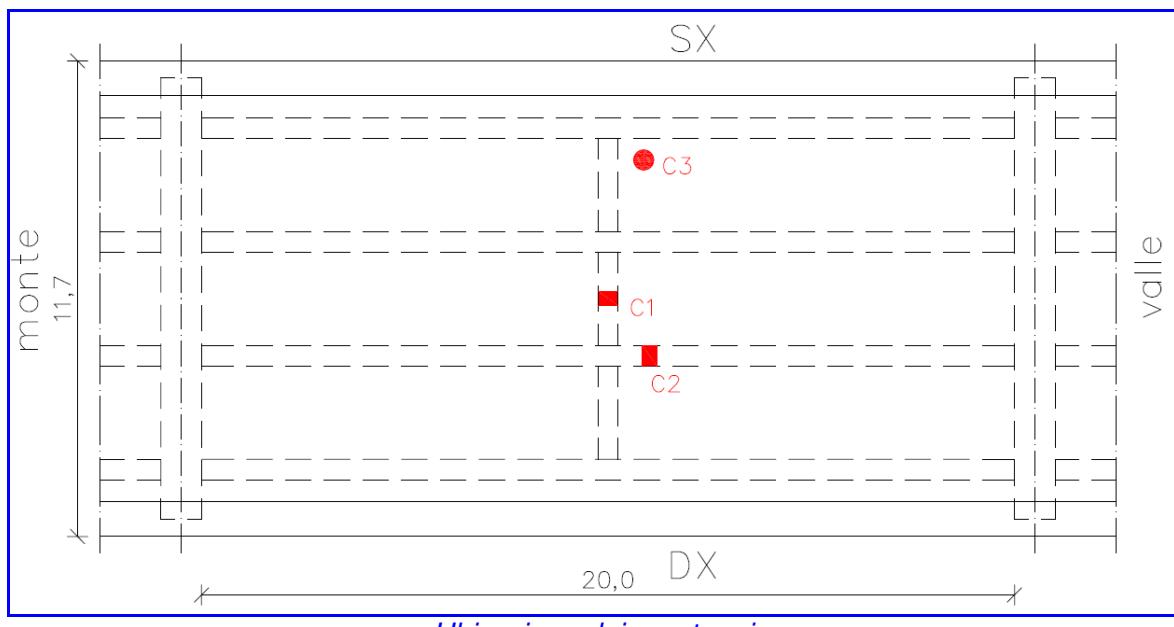
- Da tenere presente che la forma del cilindro è regolata da UNI 12390-1 e che le correlazioni con la resistenza del cls ( $R_{ck}$ ) sono da riferirsi generalmente ad un  $R_{ck}$  cubico di lato 15 cm x 15 cm.
- Tale correlazione è paragonabile con un cilindro di diametro 15 cm ed altezza 30 cm.

#### RIFERIMENTI

Norma UNI EN 12504-1

### 3.3.1 Ubicazione delle prove

Sono stati prelevati 3 campioni cilindrici così come riportato nello schema seguente.



Denominazione	Elemento strutturale	Posizione
C 1	Traverso centrale	In mezzeria tra le travi centrali
C 2	II trave da destra	In mezzeria su facciata laterale
C 3	Soletta	Intradosso tra I e II trave da sx

### 3.3.2 Prove di laboratorio sulle carote di calcestruzzo

La carota è stata tagliata e rettificata presso il Laboratorio Prove Materiali 4 EMME Service S.p.A. con prova di schiacciamento condotta in base alla normativa UNI EN 12390-3; il Certificato è riportato negli allegati.

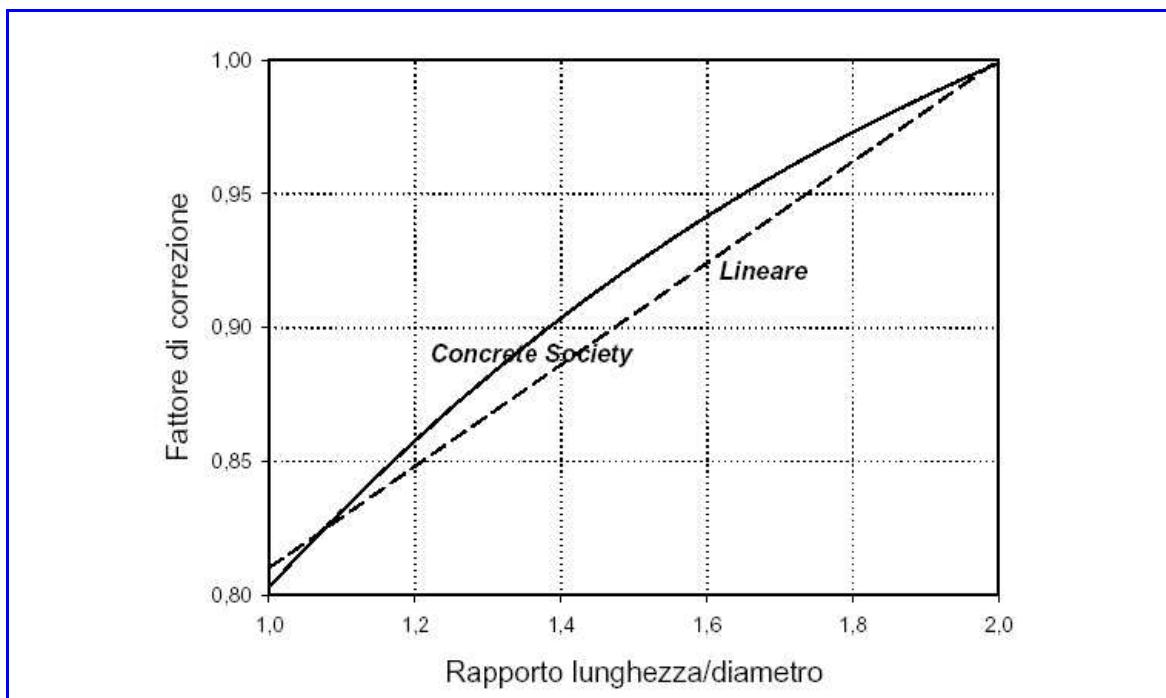
I valori della resistenza cubica sono ottenuti seguendo le prescrizioni delle "Linee Guida" del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del febbraio 2008 che prevedono:



- per  $L/d = 1 \rightarrow R_{cub} = R_{cil}$

- per  $L/d = 2 \rightarrow R_{cub} = 1,25 \cdot R_{cil}$

Per rapporti  $L/d$  compresi fra 1 e 2 si può fare riferimento al grafico seguente.



*Fattori di correzione della resistenza cilindrica in funzione del rapporto lunghezza-diametro dei provini*

### 3.3.3 Risultati

Nella tabella successiva sono riportati in maniera sintetica i risultati della prova di resistenza a compressione.

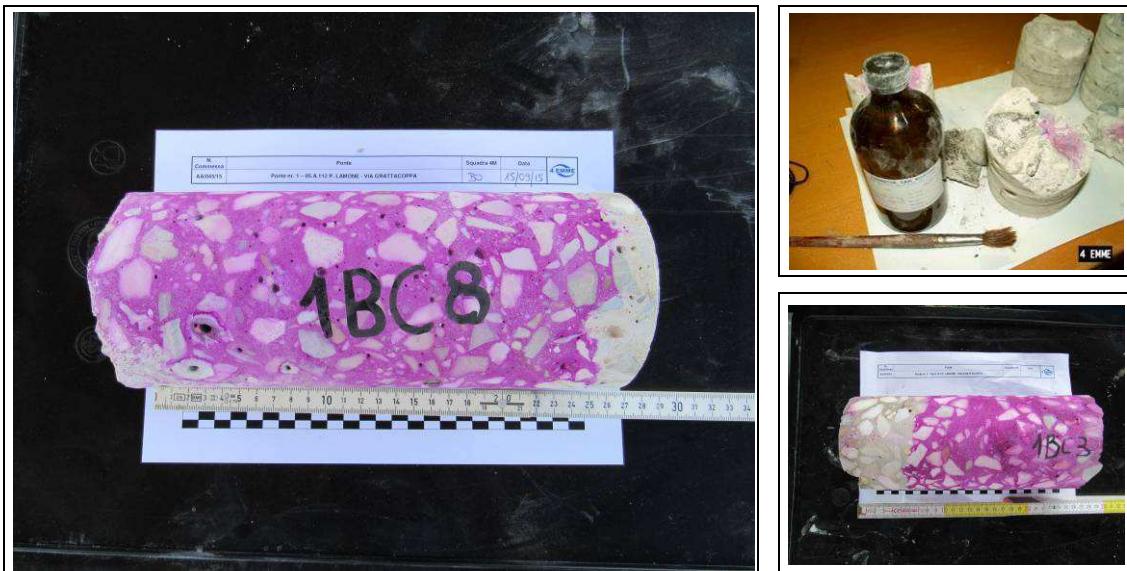
Il certificato del Laboratorio è riportato negli allegati.

Elemento	Sezione	Rc media [MPa]
<b>Traverso</b>	<i>C 1</i>	<b>83,3</b>
<b>Trave</b>	<i>C 2</i>	<b>26,9</b>
<b>Soletta</b>	<i>C 3</i>	<b>29,5</b>

### 3.4 Determinazione della profondità di carbonatazione del calcestruzzo

La prova ha lo scopo di determinare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo. Il calcestruzzo possiede un valore di pH di circa 12,5, cosa che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte alcalinità costituisce una protezione naturale dell'armatura contro la corrosione.

Il calcestruzzo carbonatato è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce inoltre una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione misurati con sclerometro.



#### PROCEDURA

- Utilizzare una carota eseguendo la prova immediatamente dopo l'estrazione ad evitare che si formi un film carbonatato superficiale.
- Pulire accuratamente con uno straccio asciutto la superficie cilindrica.
- Spalmare o nebulizzare la fenoftalina sulla superficie, con soluzione all'1% di alcool etilico, utilizzando un pennello o un nebulizzatore.
- Misurare lo spessore di carbonatazione che risulta non reagente e di colore inalterato, facendo la media di almeno 4 punti. La parte reagente, non carbonatata, assumerà una colorazione rosso violetto.
- Nel caso di un andamento molto irregolare della linea di carbonatazione dovrà essere riportato il valore minimo e massimo.

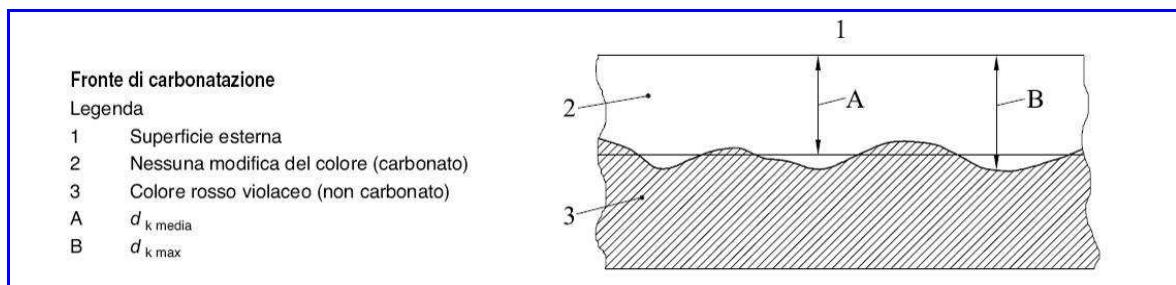
#### NOTE

- Nel caso la carota rimanga all'aria un tempo superiore ai 30 minuti, prima di procedere alla misura è necessario procedere carteggiando profondamente la superficie cilindrica per asportare il film di carbonatazione creatosi a contatto con l'aria o, preferibilmente, procedere a tagliare la carota a secco secondo un piano normale alla superficie esposta.
- In mancanza di carota la norma consente l'uso di frammenti, prelevati per distacco forzato, tagliati a secco secondo un piano normale alla superficie esposta.
- La registrazione della misura va corredata di una foto dove sarà evidenziato l'adesivo con la scritta di provenienza della carota.

#### RIFERIMENTI

UNI EN 14630





*Misurazione fronte di carbonazione secondo UNI EN 14630*

### 3.4.1 Risultati

A seguire vengono riportati i valori di carbonatazione delle carote estratte.



Carota	Elemento strutturale	Carbonatazione [mm]	
		$d_k$ max	$d_k$ media
C 1	Traverso	30	25
C 2	Trave	100	86
C 3	Soletta	40	31

### 3.5 Misura dello spessore della soletta

Si è eseguito un foro con il trapano dall'intradosso ed lo spessore della soletta è risultato essere di 27 cm.

## 4 CARATTERIZZAZIONE DINAMICA

Lo scopo dell'indagine dinamica è quello di individuare sperimentalmente le frequenze libere di vibrazione, potendo così individuare quale tra le varie campate sia la più flessibile.

I parametri dinamici, essendo legati a tutti gli elementi geometrici e meccanici della struttura, rappresentano un valido strumento di controllo nel tempo dell'eventuale variazione delle condizioni generali.

### 4.1 Strumentazione impiegata

La misura delle frequenze proprie della struttura è stata eseguita utilizzando 4 tromografi digitali Microseismic 6S costituiti ognuno da una terna accelerometrica e una terna geofonica.

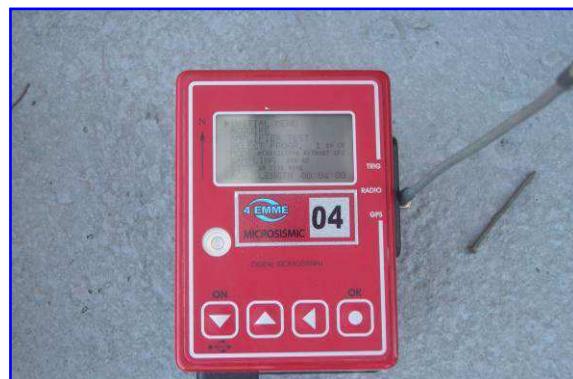
Sensibilità velocimetri:  $\pm 1,5 \div \pm 45,6$  mm/s.

Fondo scala accelerometri:  $\pm 3$  g nella banda 0.5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0.5 Hz- 550 Hz per l'asse Z.

La densità di potenza spettrale del rumore è 280  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  rms per gli assi X e Y e 350  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  rms per l'asse Z.

La tipologia è MEMS®.

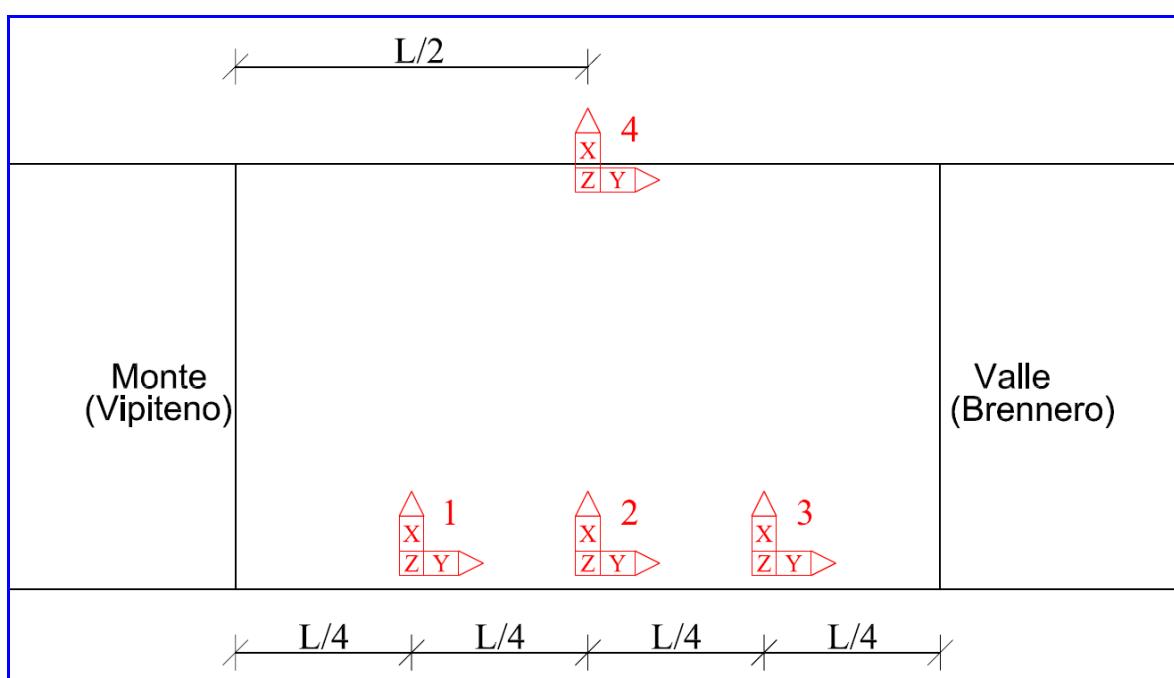
Il collegamento avviene via radio per consentire la sincronizzazione del segnale.



*Microseismic*

### 4.2 Posizione degli strumenti

Utilizzando i 4 Microseismic sono state eseguite 6 differenti configurazioni, una per ognuna delle 6 campate isostatiche presenti, posizionando sempre gli strumenti come riportato nello schema tipo seguente.



*Schema di posizionamento sensori su campata tipo*



*Sensori in acquisizione*

#### 4.3 Acquisizione dei dati

Il campionamento dei dati è stato di 512 Hz.

Nella tabella seguente sono associate a ciascuna configurazione eseguita la denominazione dei file di acquisizione, la campata monitorata e la durata dell'acquisizione.

Campata da monte	File	Campionamento	Durata acquisizione
I	F1 – F2	512 Hz	2 min
II	F3 – F4		
III	F5 – F6		
IV	F7 – F8		
V	F9 – F10		
VI	F11 – F12		

#### 4.4 Applicazione degli impulsi

L'eccitazione della struttura è stata di tipo naturale e/o prodotta dalla spinta del vento.

#### 4.5 Analisi ed elaborazione dei dati

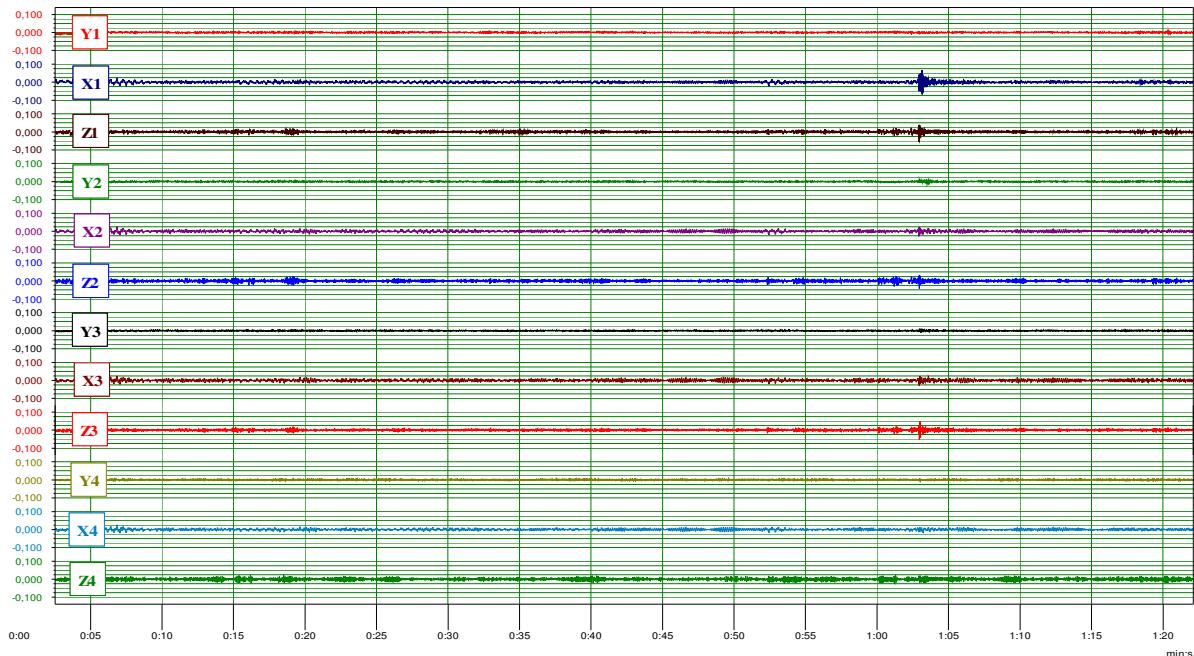
Per rilevare le frequenze proprie e le forme modali della struttura i dati acquisiti in campo sono stati analizzati mediante due modalità di elaborazione.

La prima prevede lo studio delle frequenze direttamente nel dominio dei tempi, consentendo, attraverso opportuni filtri passa basso, di ottenere un segnale pulito all'interno del campo di frequenze ricercato e di conseguenza misurare il "periodo" con una precisione di  $\pm 0,002$  secondi. Dalle stesse elaborazioni dei segnali si producono gli spettri delle frequenze di vibrazione ottenendo una precisione pari a  $\pm 0,01$  Hz.

In seconda analisi si procede alla realizzazione di un modello geometrico dinamico che elaborando tutti i segnali ricavati in punti diversi della struttura, determina il comportamento modale individuandone le forme corrispondenti alle frequenze libere rilevate.

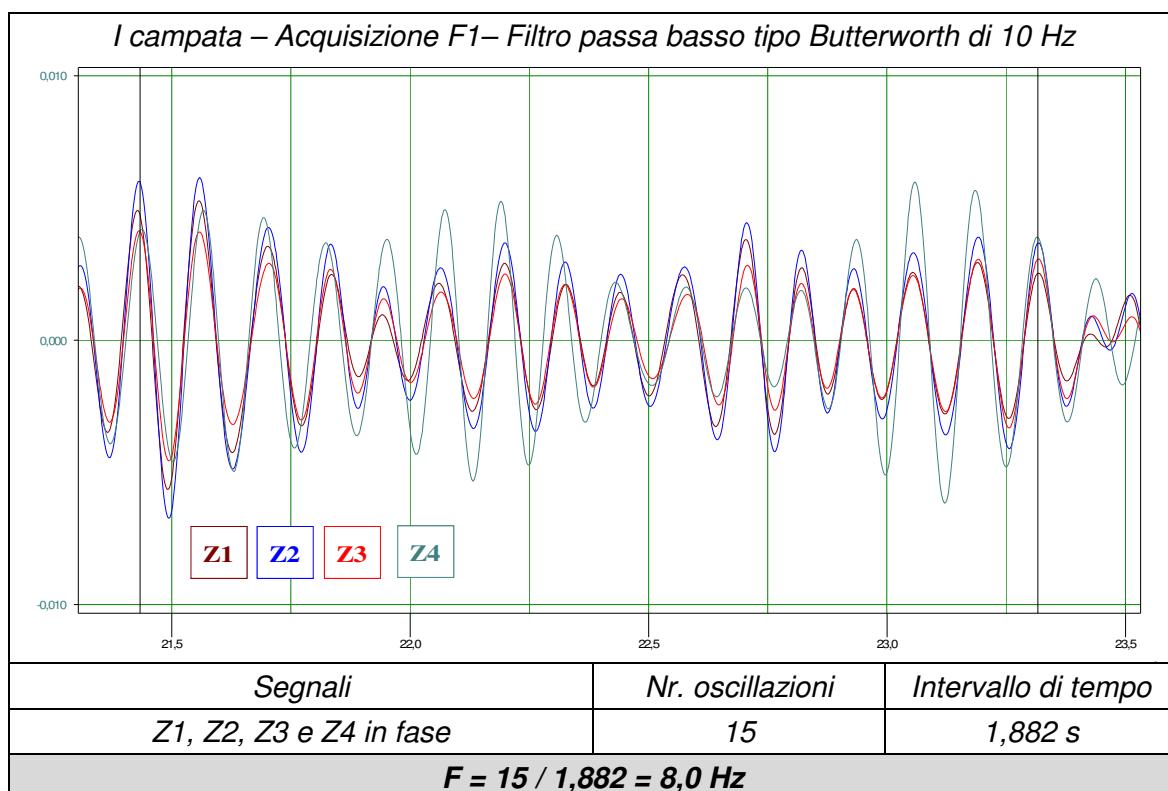
#### 4.6 Analisi nel dominio dei tempi

Nel grafico seguente si riporta a titolo d'esempio l'oscillogramma dei 12 sensori nell'acquisizione F1. In ascissa il tempo è espresso in minuti ed in ordinata la velocità in mm/s.

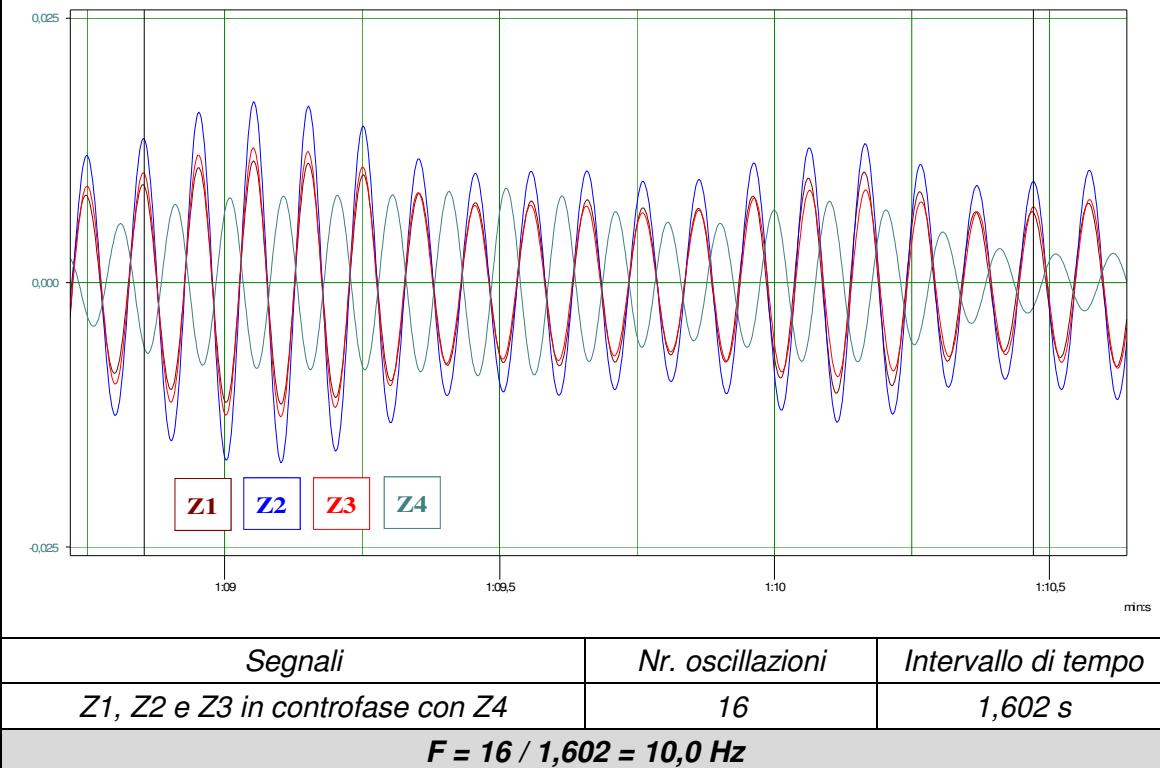


Tutte le acquisizioni sono state elaborate e nei paragrafi successivi si riporta l'analisi delle frequenze per le configurazioni più significative con in evidenza le finestre temporali in cui si è rilevata la frequenza ed a seguito lo spettro calcolato con la trasformata di Fourier.

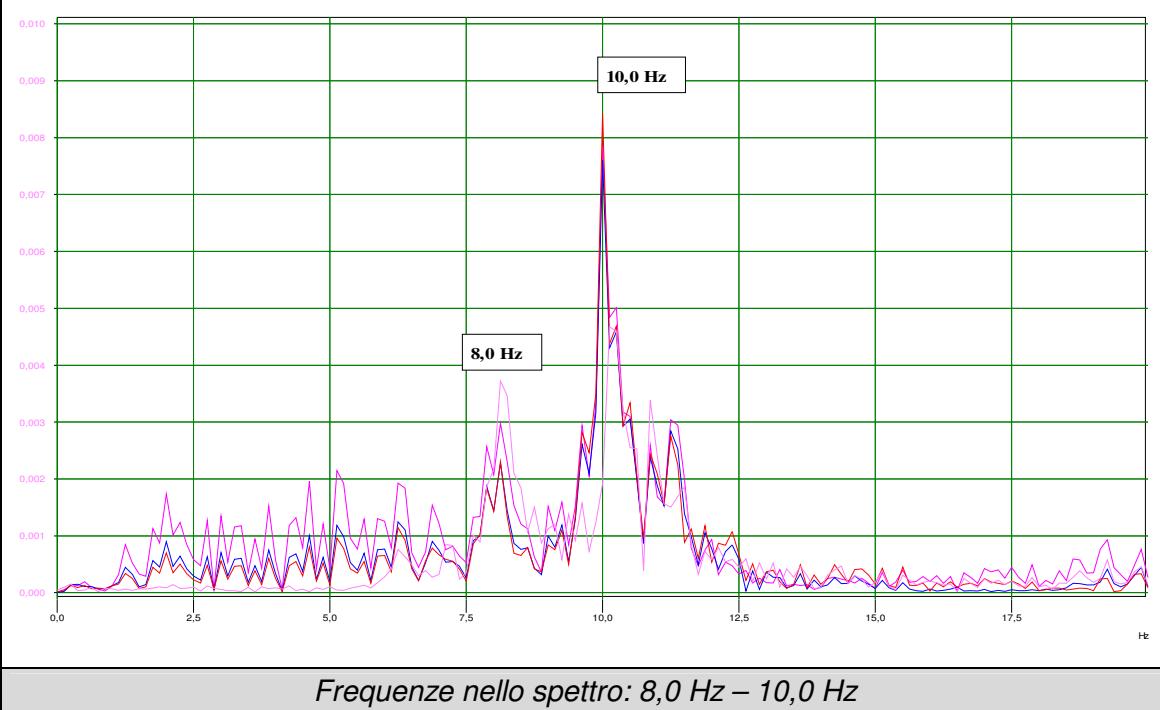
I dati sono stati preelaborati attraverso filtri passa basso di tipo Butterworth in grado di isolare le frequenze ricercate depurandole dalle frequenze di ordine superiore.

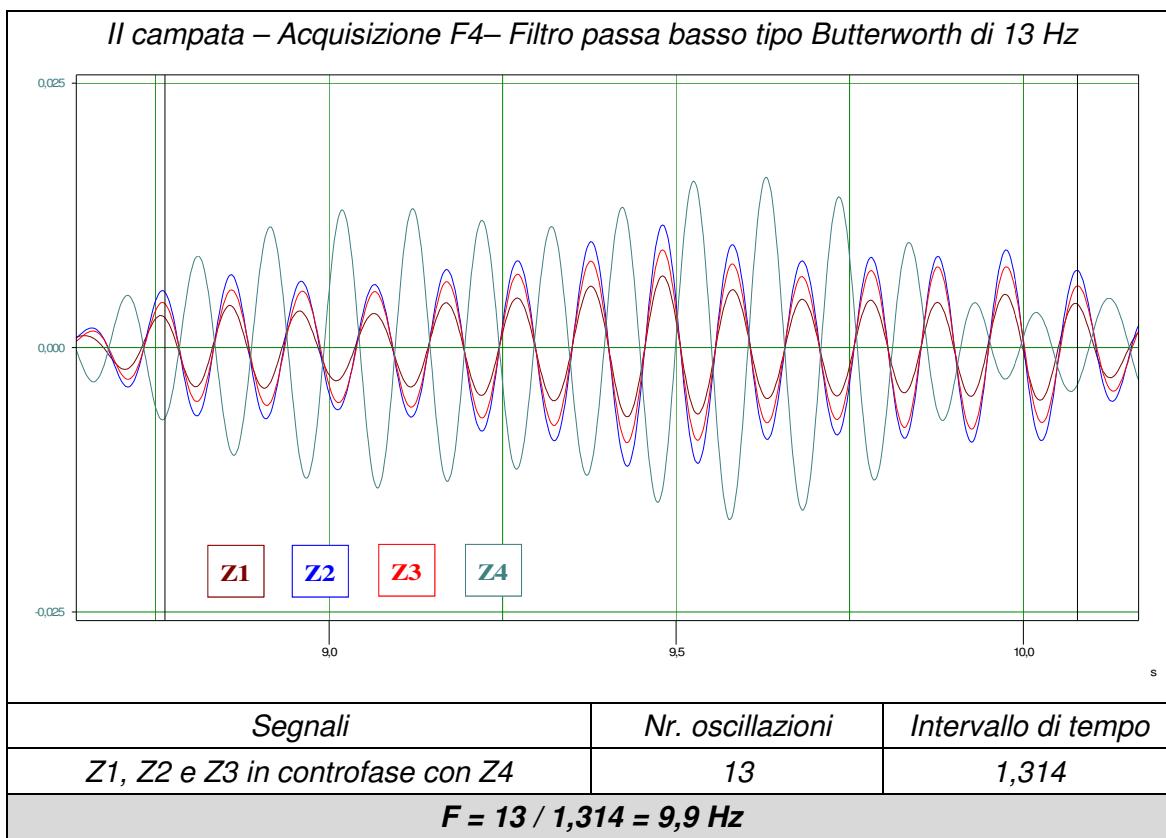
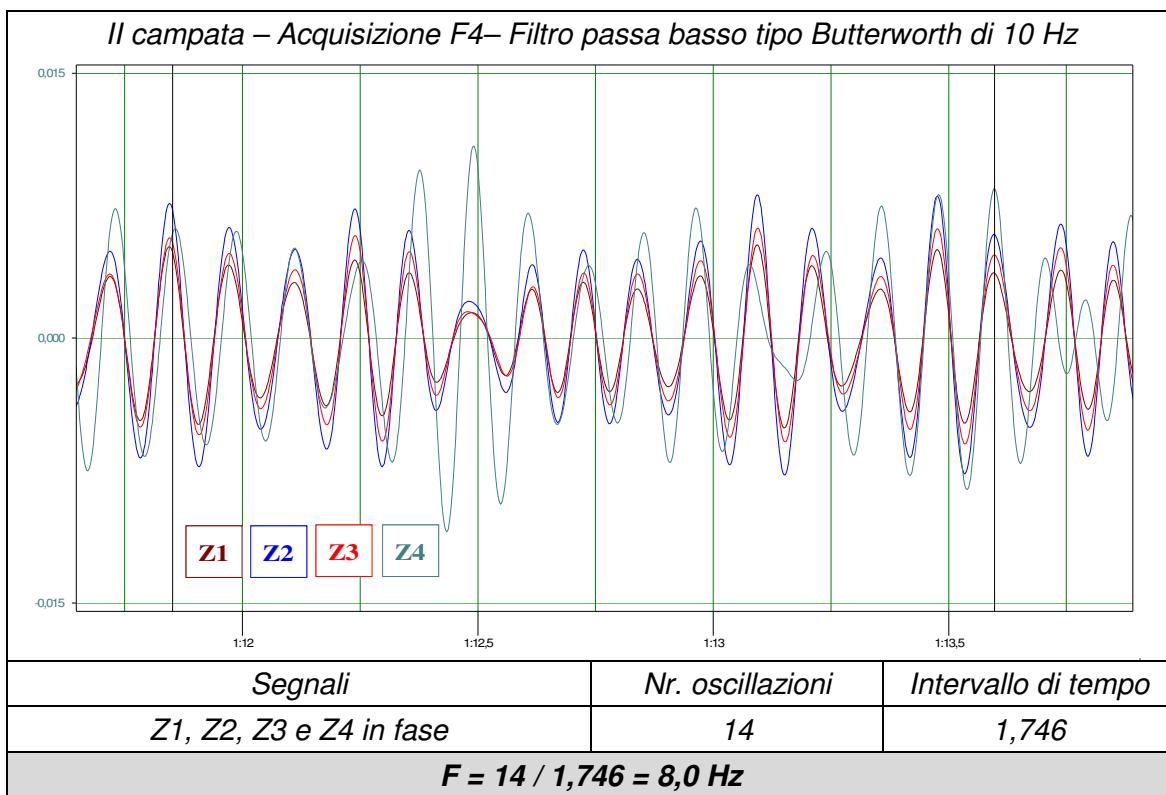


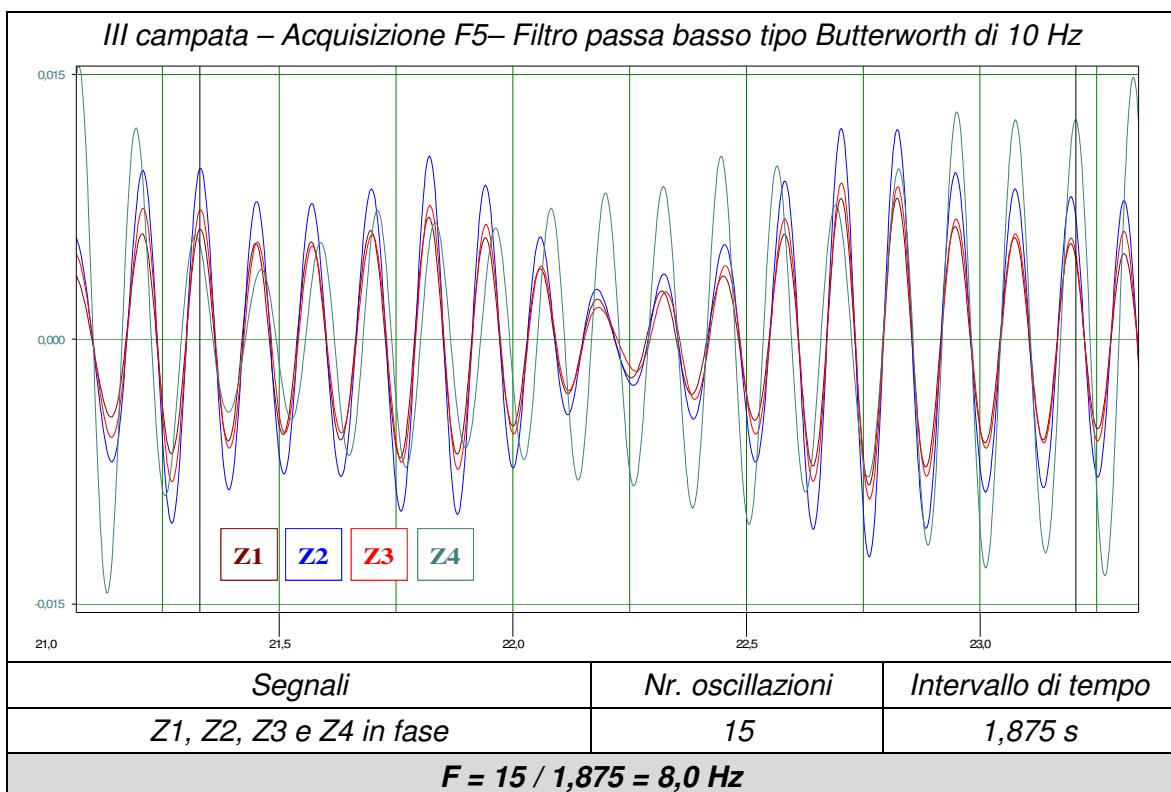
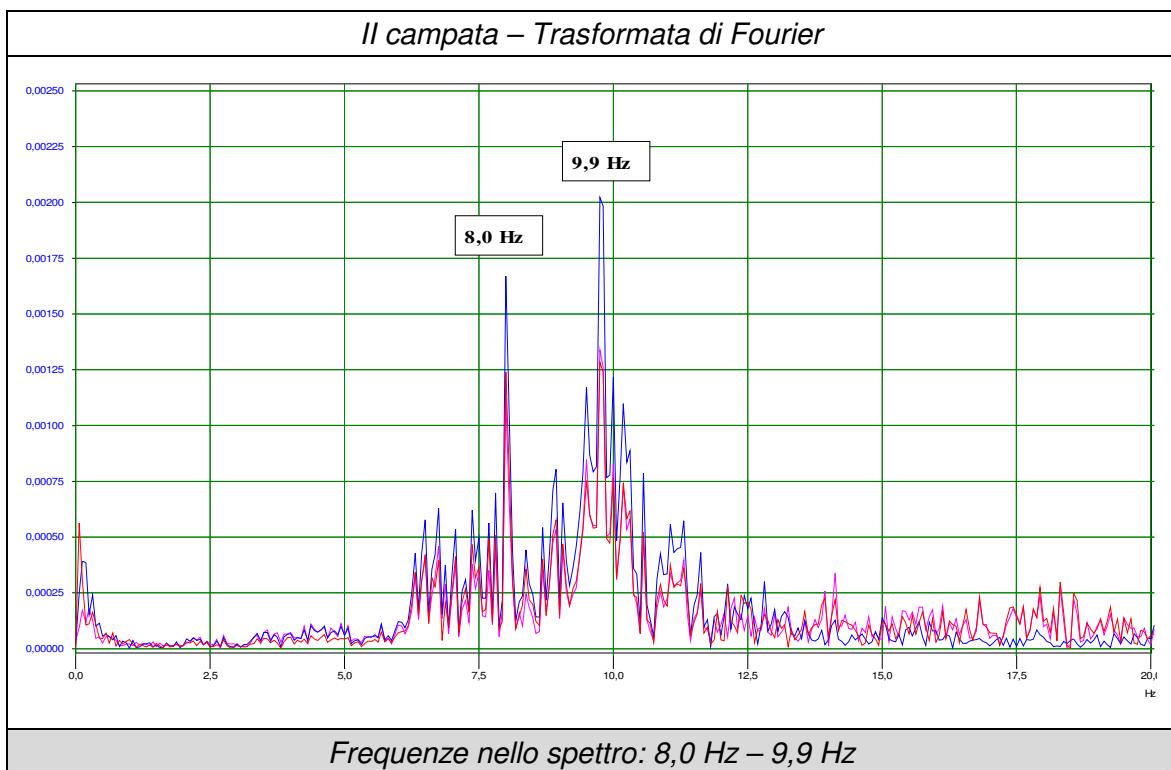
I campata – Acquisizione F1 – Filtro passa basso tipo Butterworth di 13 Hz

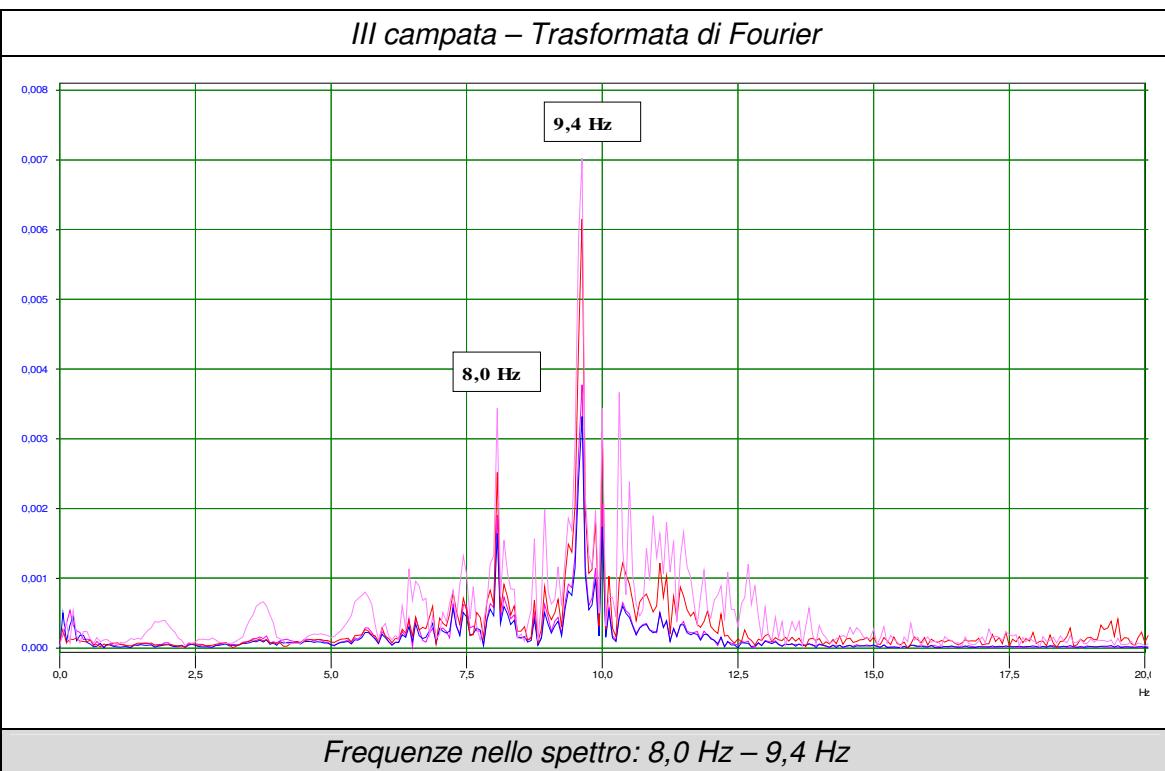
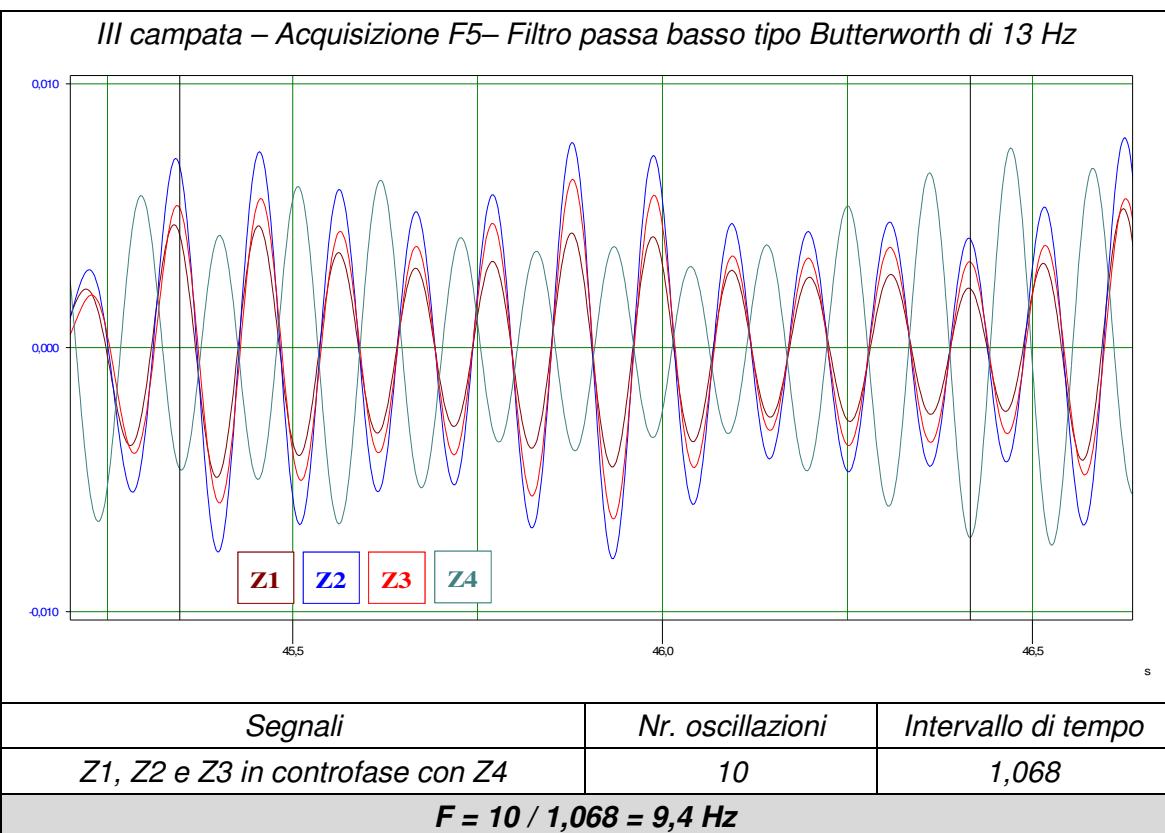


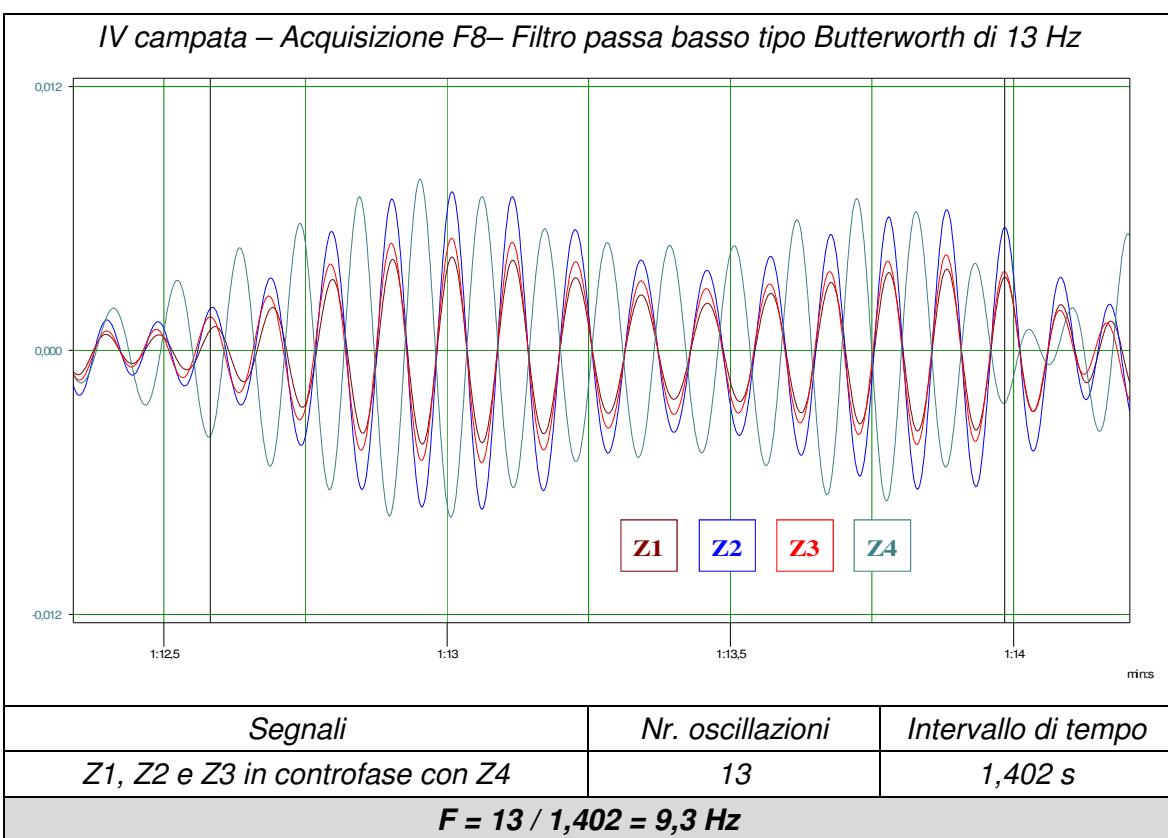
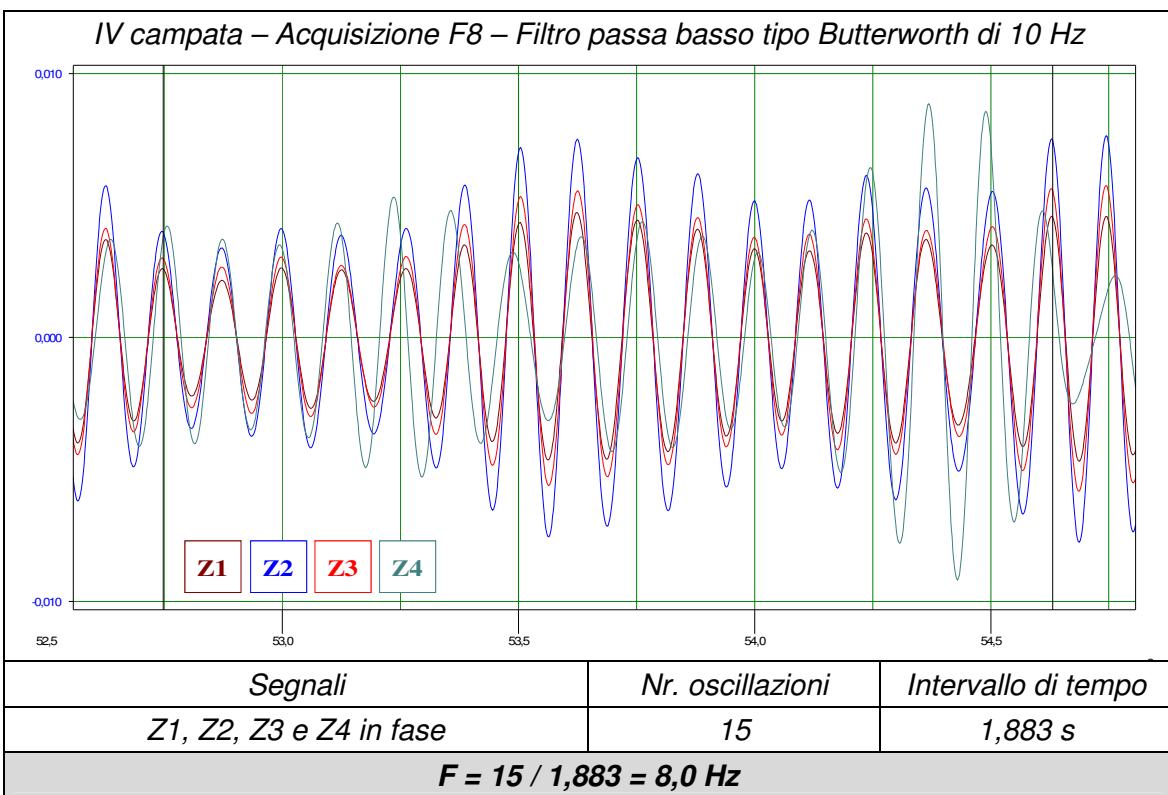
I campata – Trasformata di Fourier

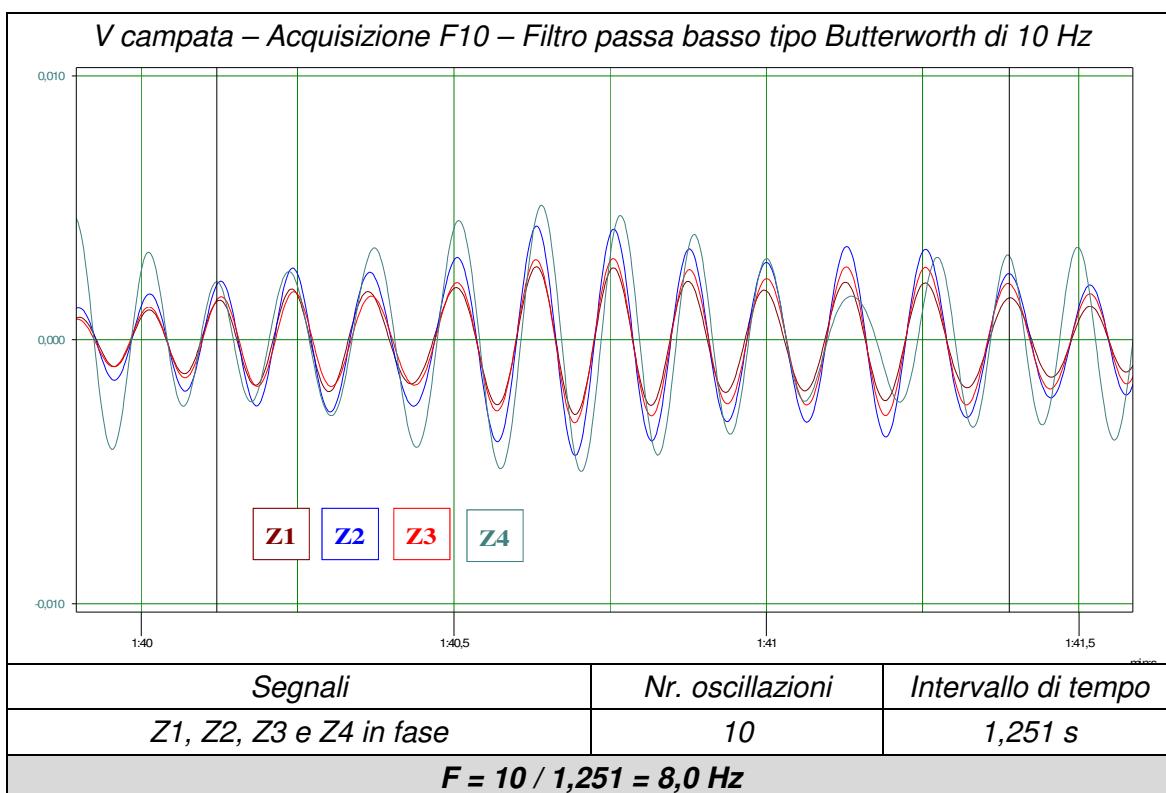
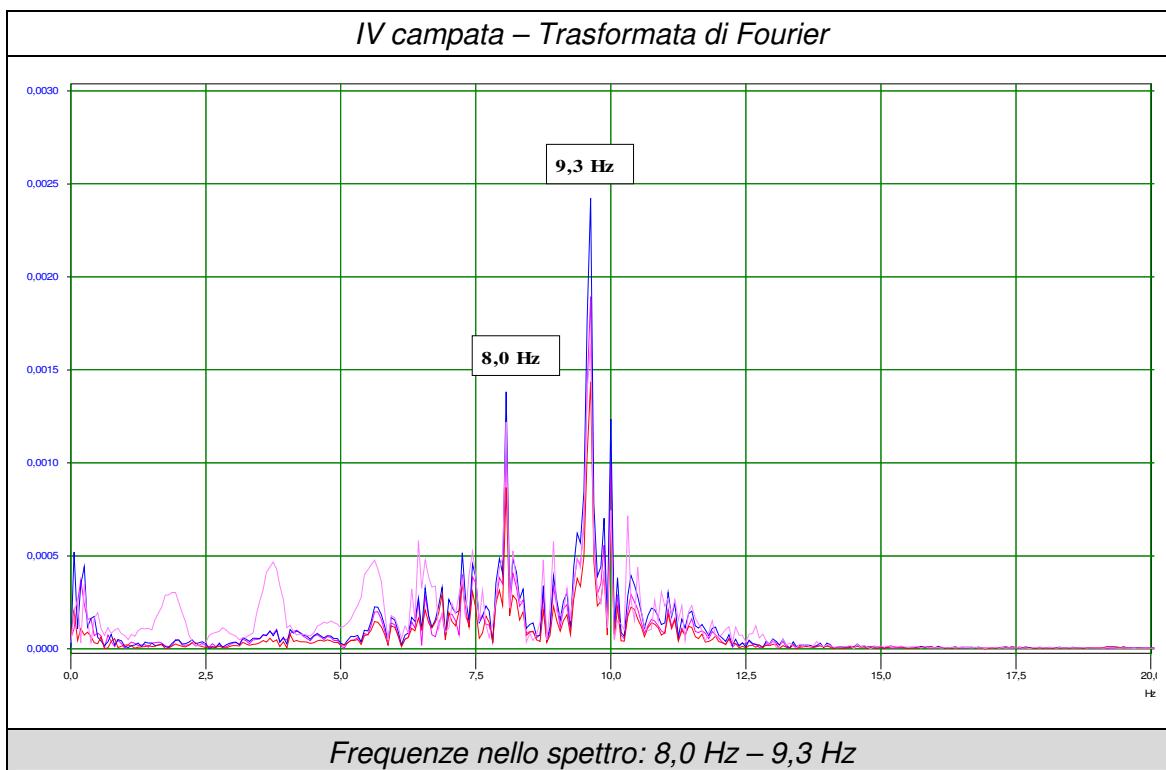


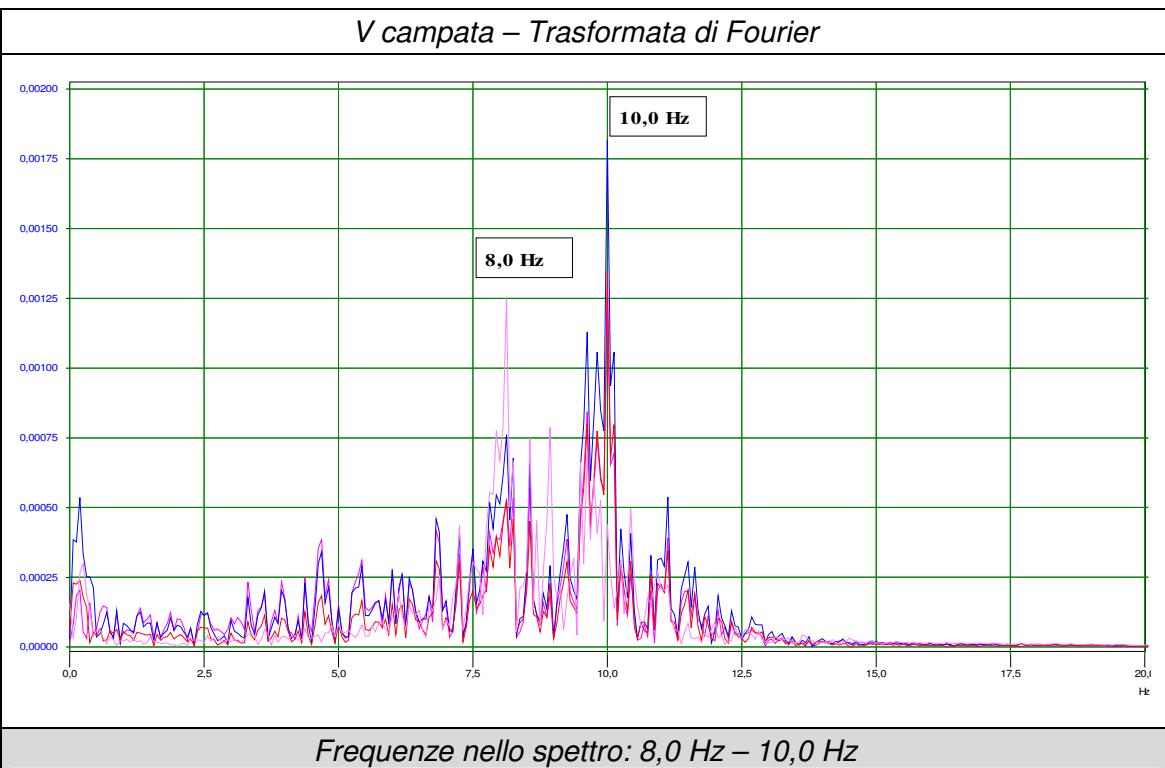
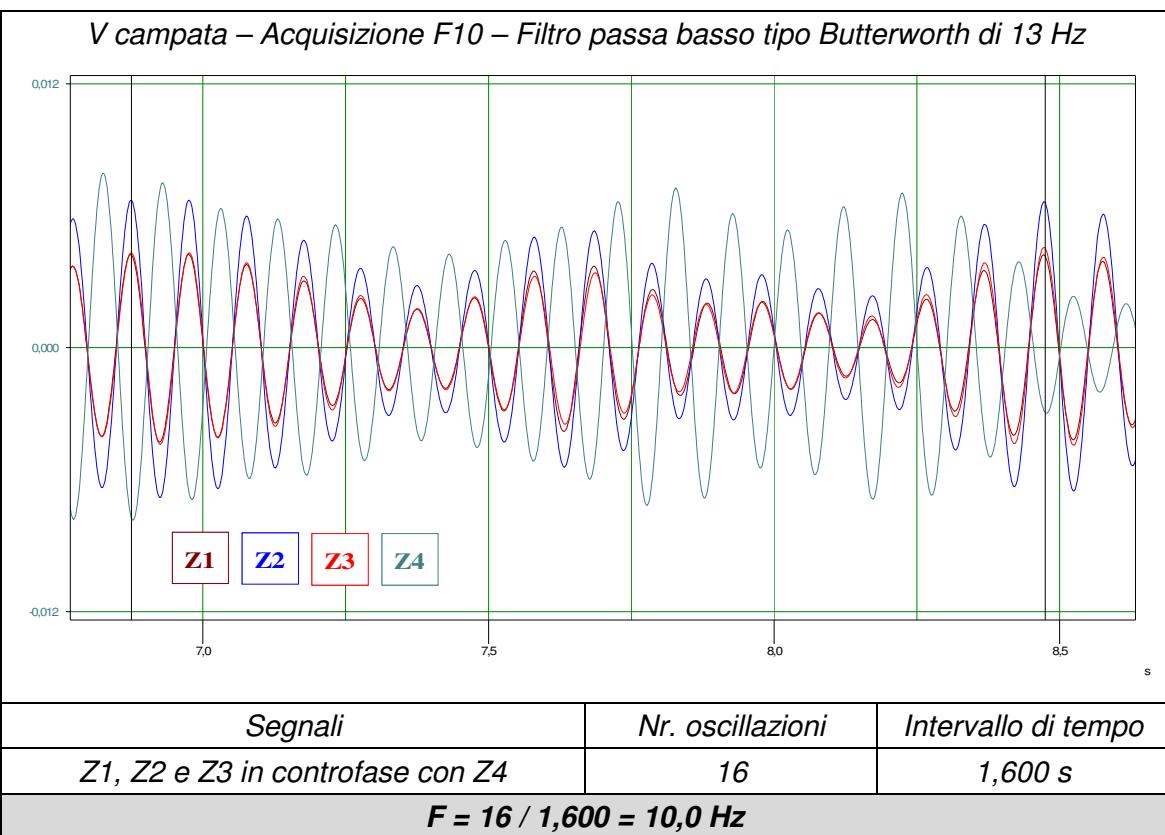


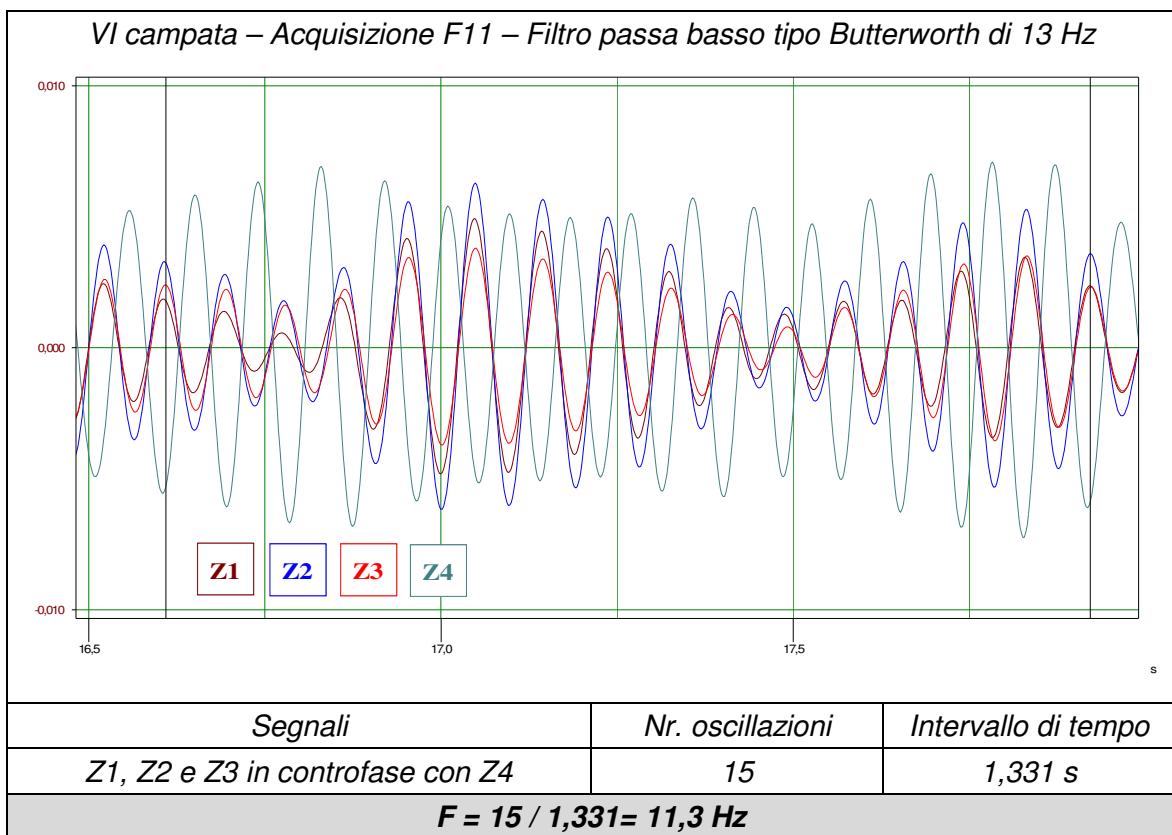
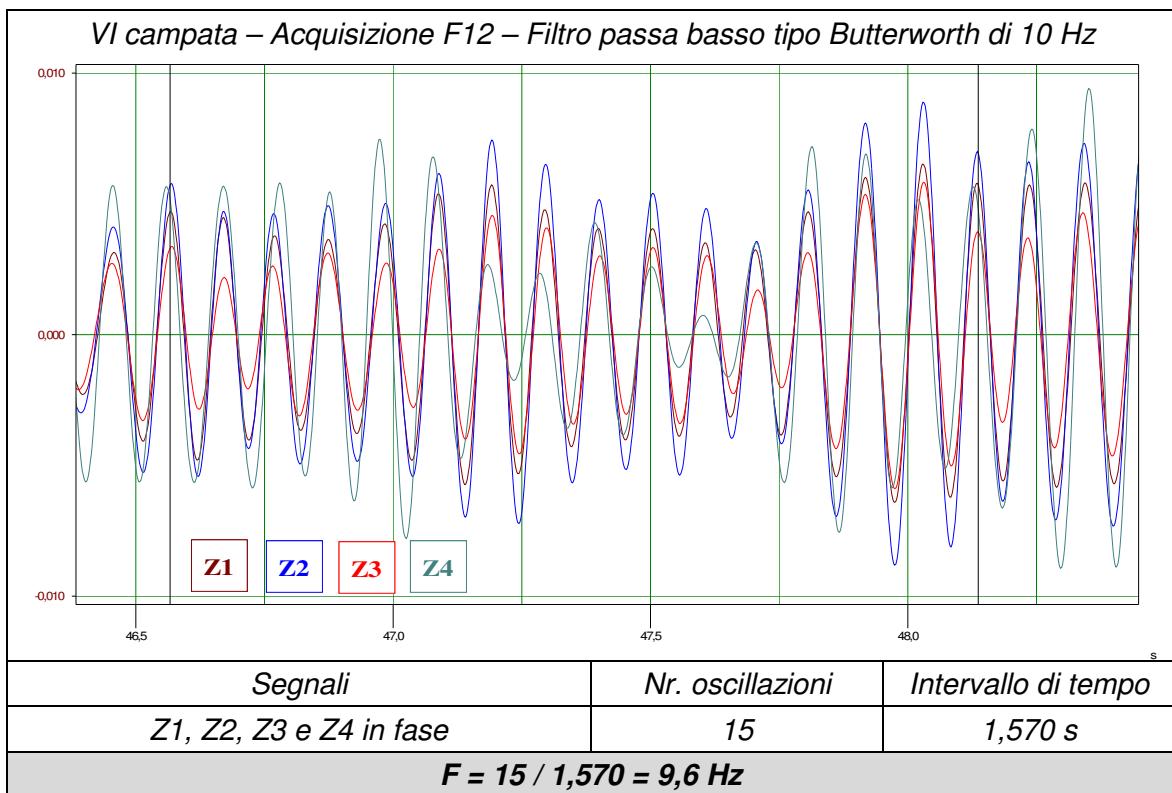


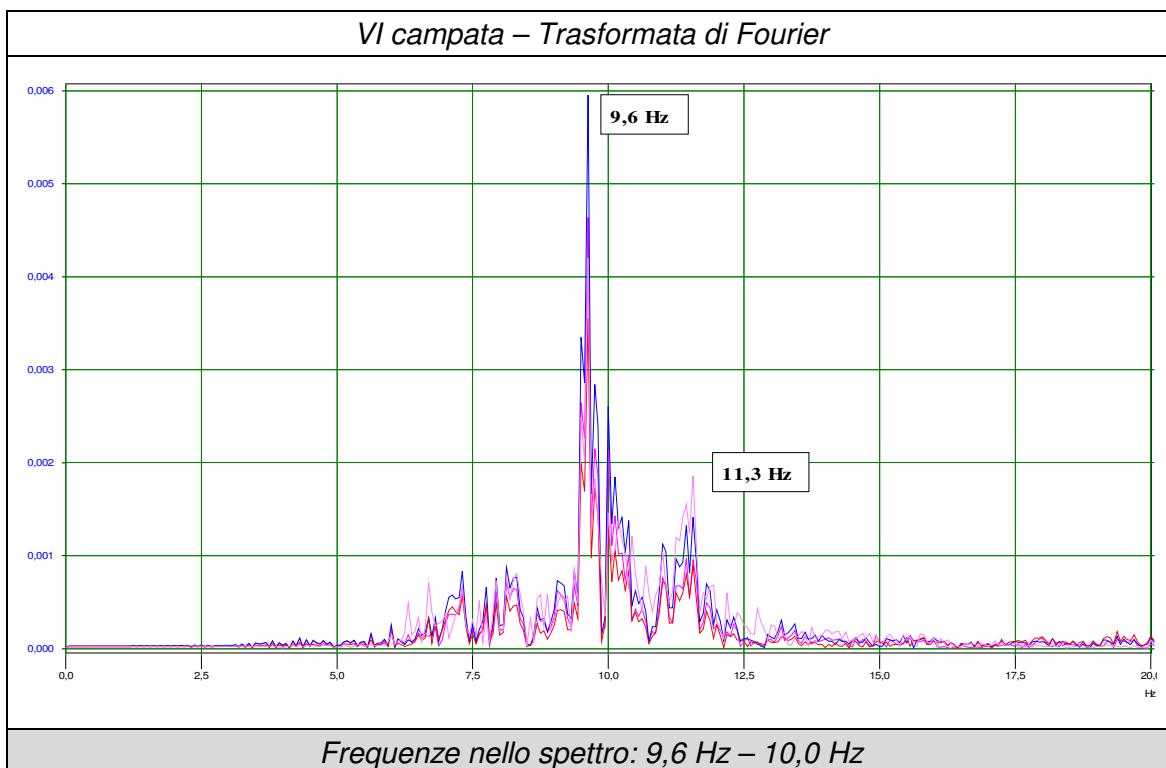












Nella tabella sottostante si riportano le frequenze individuate: le elaborazioni consentono di ottenere una precisione di  $\pm 0,01$  Hz.

<b>CAMPATA DA MONTE</b>	<b>Modo [Hz]</b>	
	<b>Verticale flessionale</b>	<b>Verticale torsionale</b>
I	8,0	10,0
II	8,0	9,9
III	8,0	9,4
IV	8,0	9,3
V	8,0	10,0
VI	9,6	11,3

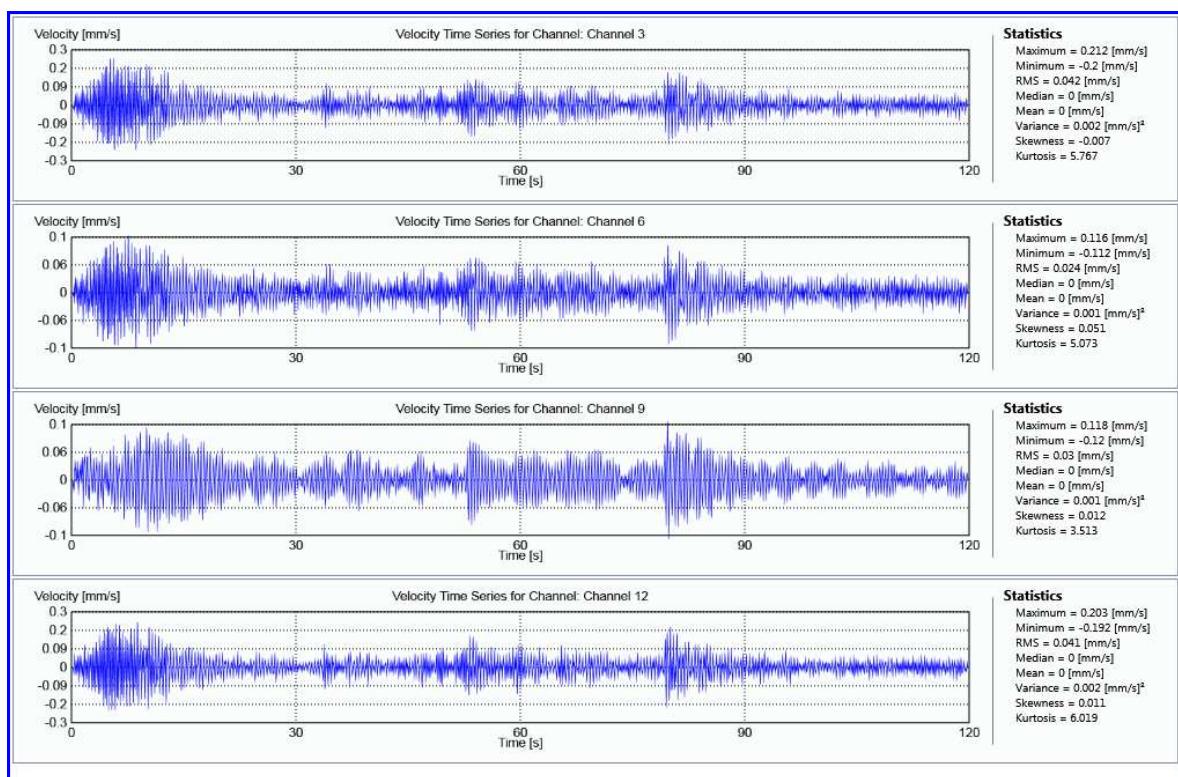
#### 4.7 Analisi con modello geometrico

È stato eseguito un modello dinamico geometrico trattato con tecnica EFDD, che consente di utilizzare contemporaneamente i segnali ricavati da tutte le diverse posizioni. Questo metodo, oltre a verificare i risultati ottenuti dall'analisi diretta dei segnali, consente di individuare anche le frequenze di ordine superiore ed in particolare i modi di vibrare.

L'identificazione strutturale avviene mediante tecnica EFDD – Enhanced Frequency Domain Decomposition, che si basa sui seguenti processi:

- decomposizione ai valori singolari, SVD, della matrice spettrale del segnale;
- ottenimento delle curve SVD nel dominio delle frequenze;
- ricerca dei picchi di intensità mediante tecnica peak-picking corrispondenti ai singoli gradi di libertà del sistema (SDOF – Single Degree of Freedom);
- ottenimento della funzione di autocorrelazione per ogni grado di libertà;
- trasformazione nel dominio del tempo di ciascuna funzione di autocorrelazione attraverso trasformata di Fourier inversa (IFFT), stima della frequenza propria mediante misura dei periodi e dello smorzamento associato mediante calcolo del decremento logaritmico.

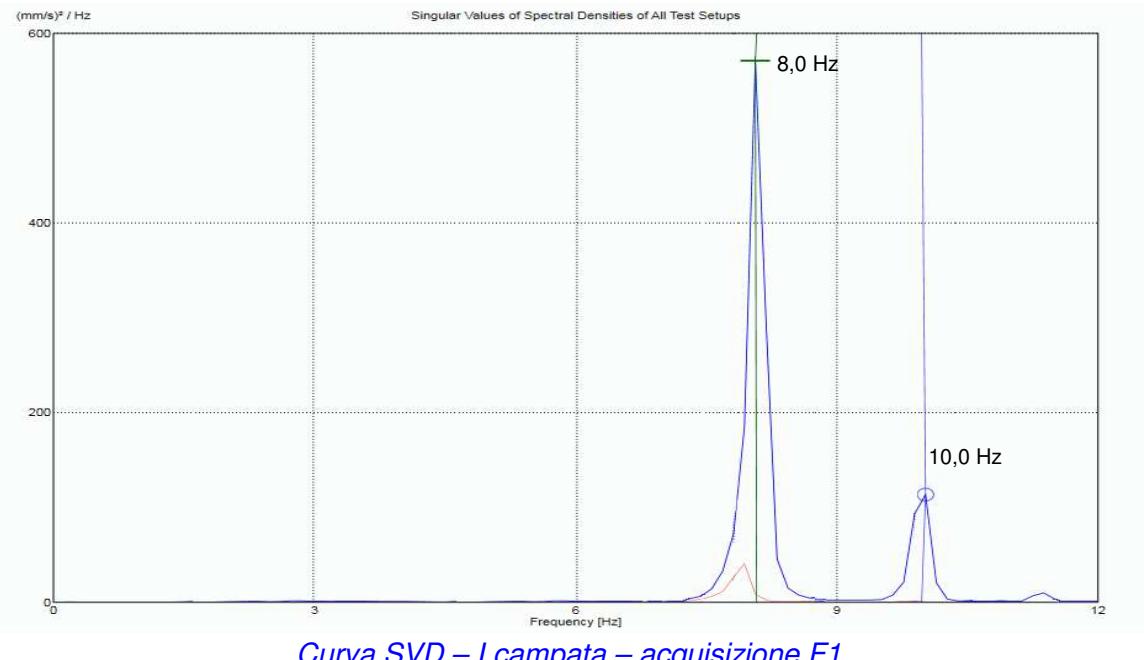
Di seguito si riportano i passaggi salienti dell'analisi modale operazionale EFDD e le time-series relative ai vari accelerometri in una configurazione di esempio.



Time-series in direzione Z – File F1

Il modello geometrico della struttura è costituito da 10 nodi collegati tra loro con delle superfici. A tale modello sono poi state assegnate le time-series dei Microseismic.

Dall'elaborazione effettuata secondo la tecnica descritta si ricava lo spettro sul quale si individuano i picchi corrispondenti alla frequenze proprie, si riporta a titolo di esempio la curva SVD della I campata da monte.



Nelle tabelle sottostanti si riportano le rappresentazioni grafiche, con la descrizione e la relativa frequenza delle forme modali individuate dal software di elaborazione.

I modo – Verticale flessionale		II modo – Verticale torsionale	
CAMPATA DA MONTE	[Hz]	CAMPATA DA MONTE	[Hz]
I	8,0	I	10,0
II	8,0	II	9,9
III	8,0	III	9,4
IV	8,0	IV	9,3
V	8,0	V	10,0
VI	9,6	VI	11,3

## 5 PROVA DI CARICO STATICO DI ANALISI

Nella giornata del 28 luglio 2017 si è eseguita una prova di carico di analisi con carichi ridotti e lo stato deformativo rilevato nelle diverse condizioni di carico è stato utilizzato per la calibrazione del modello numerico.

### 5.1 Strumentazione

La rilevazione delle deformazioni è stata effettuata con:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni *GS05*;
- 7 sensori inclinometrici *Midori Precisions PM-5TH-Z1*;
- software di elaborazione 4 EMME Service S.p.A..

Caratteristiche sensori inclinometrici:

- risoluzione  $\pm 0,001^\circ$ ;
- campo  $\pm 4^\circ$ .



Postazione di acquisizione



Sensori inclinometrici

Tutti gli strumenti sono stati tarati dal Laboratorio Tarature della 4 EMME Service S.p.A. utilizzando dei sensori campione come previsto dalla procedura 7.6 “Gestione degli Strumenti” del Manuale di Qualità.

### 5.2 Applicazione del carico

La sollecitazione della struttura è stata ottenuta tramite un autocarro a 4 assi e di seguito sono indicati il peso e le misure caratteristiche.

N°	Peso [kN]			Distanze [m]							
	Ant.	Post.	Totale	A	B	C	D	E	F	G	H
1	144,4	256,6	401,0	1,50	1,75	2,50	1,40	1,25	2,10	1,85	2,50

### 5.3 Descrizione della prova

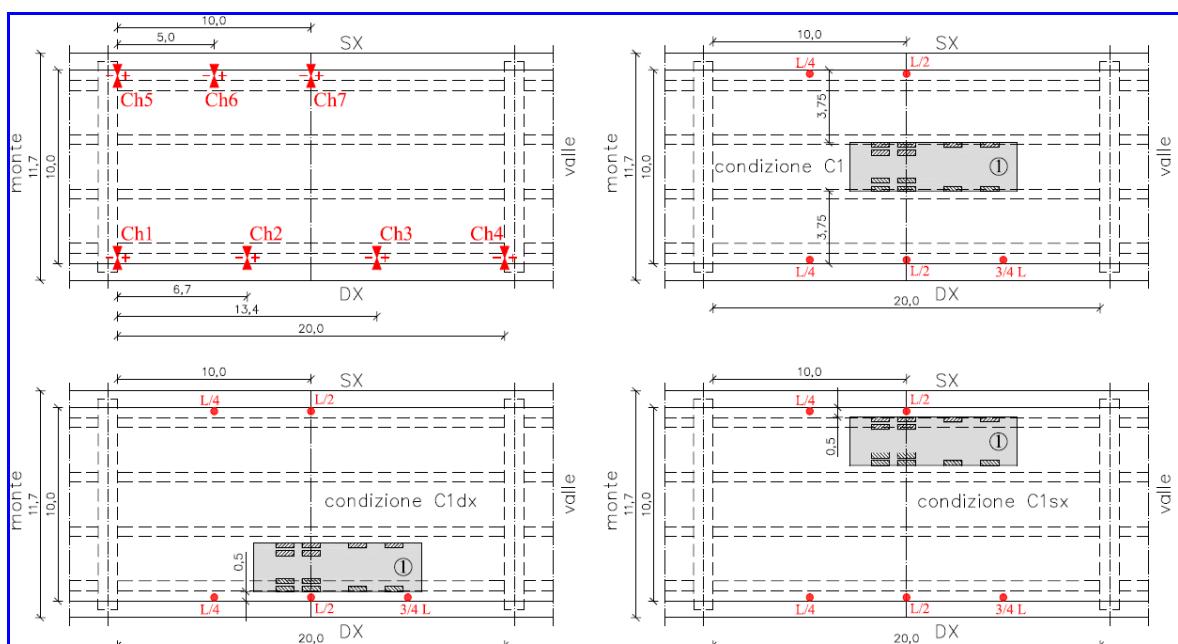
Sono stati eseguiti sei cicli di carico e scarico, mantenendo le posizioni sino alla stabilizzazione delle deformazioni: il carico è stato ottenuto posizionando i camion sulla carreggiata in tre differenti condizioni, come riportato negli schemi seguenti.



Condizioni di carico C1



Condizioni di carico C1dx e C1sx



Disposizione dei sensori, condizioni di carico e punti di elaborazione delle frecce

## 5.4 Risultati

Nella tabella seguente sono riportati i valori delle deformazioni assolute rilevate.

Ciclo	Condizione di carico	Carico applicato [kN]	DEFORMAZIONI [mm]				
			Bordo destro			Bordo sinistro	
			$\frac{1}{4} L$	$\frac{1}{2} L$	$\frac{3}{4} L$	$\frac{1}{4} L$	$\frac{1}{2} L$
I	C1	401	0,42	0,65	0,42	0,42	0,76
	Scarico	0	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02
II	C1	401	0,42	0,65	0,42	0,43	0,77
	Scarico	0	0,03	0,05	0,02	0,02	0,03
III	C1dx	401	1,17	1,90	1,28	0,01	0,02
	Scarico	0	0,03	0,12	0,04	0,00	0,00
IV	C1dx	401	1,14	1,85	1,23	0,01	0,02
	Scarico	0	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
V	C1sx	401	0,01	0,02	0,01	1,20	1,86
	Scarico	0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
VI	C1sx	401	0,01	0,02	0,01	1,18	1,84
	Scarico	0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01

## 5.5 Ispezione visiva post prova di carico

Dopo la prova di carico è stata eseguita un'ispezione visiva che **non ha evidenziato differenze nelle anomalie di carattere strutturale** rispetto all'ispezione visiva precedente.

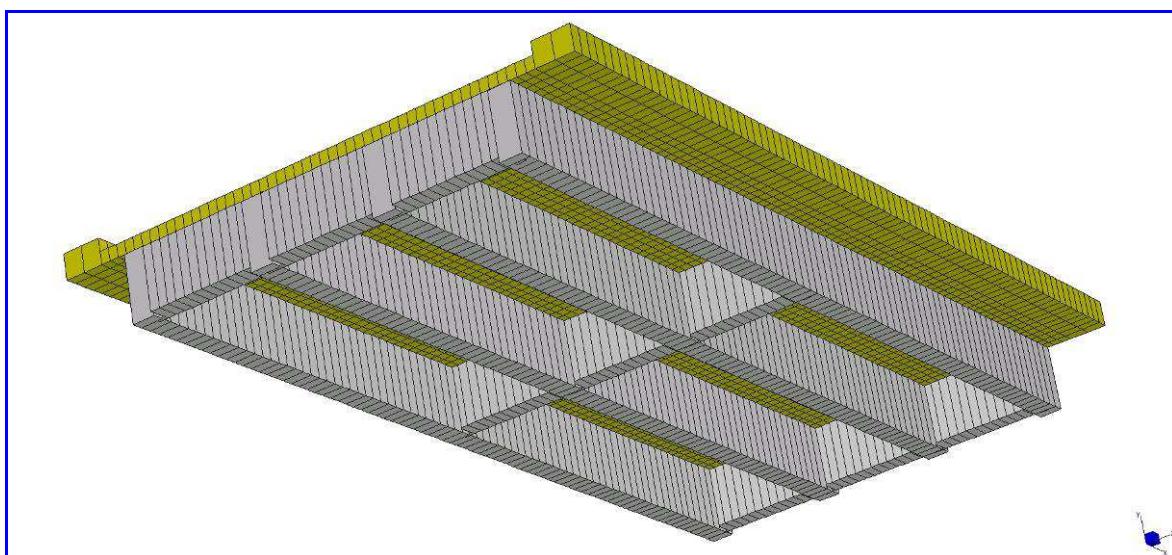
## 6 SIMULAZIONE NUMERICA

La modellazione numerica agli elementi finiti è stata eseguita con il software STRAUS 7, versione STRAND 2.4.6.

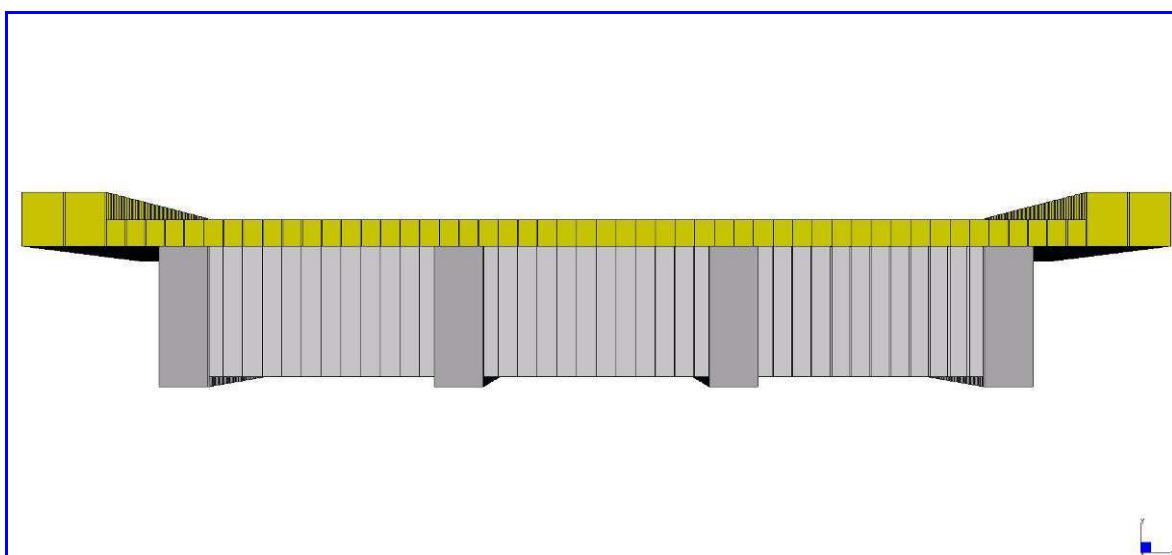
Il modello è stato realizzato sulla base dei disegni forniti dalla Committenza ed è stato calibrato con riferimento alla caratterizzazione dinamica sperimentale.

Una volta assemblati i vari elementi strutturali si è provveduto a variarne i parametri di contorno, ossia le caratteristiche meccaniche dei materiali e dei vincoli, fino alla convergenza tra i risultati sperimentali e quelli teorici.

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.



*Vista assonometrica impalcato singola campata*



*Sezione trasversale*

## 6.1 Il modello agli elementi finiti

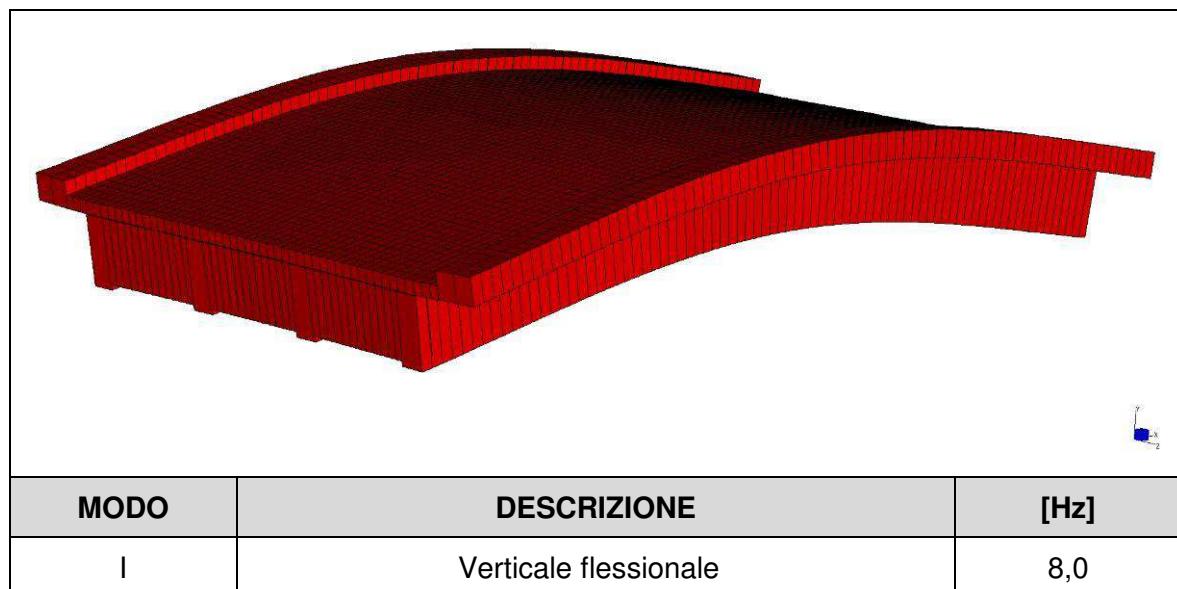
Il modello ad elementi finiti è costituito da 4.463 nodi, da 454 beam e da 4.320 plate; gli appoggi sono stati modellati mediante elementi beam-spring-damper con rigidezza assiale e laterale, l'asfalto attraverso delle masse applicate sulla soletta.

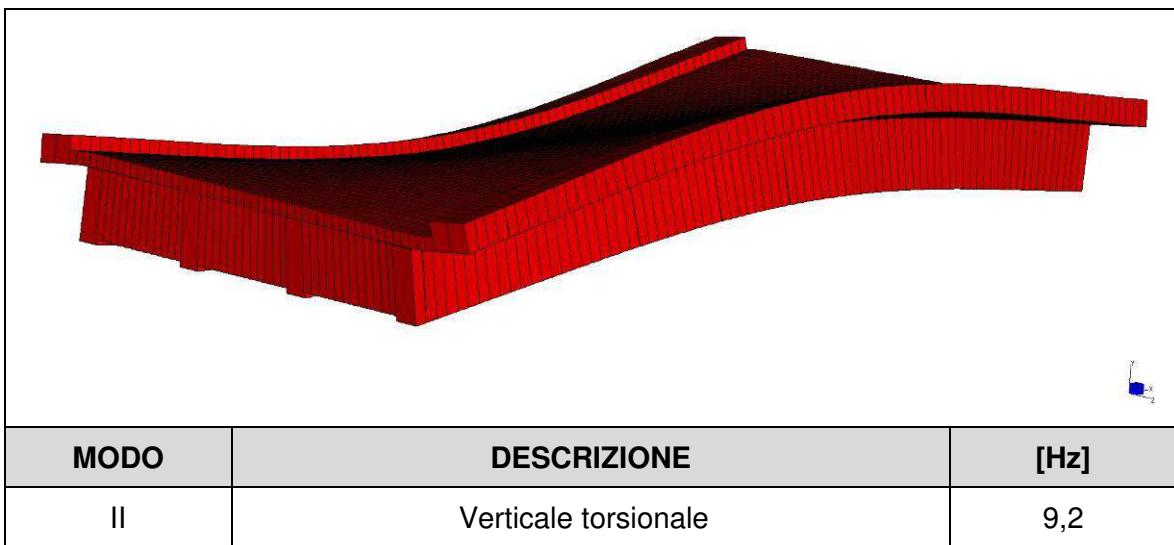
La tabella seguente riassume le caratteristiche degli elementi principali che compongono la struttura modellata, il numero di elementi nel modello e le proprietà meccaniche adottate per il materiale.

ELEMENTO	Nr. ELEMENTI	E [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	MATERIALE		
Travi longitudinali	320 beam	32.000	25,00	Calcestruzzo		
Traversi	126 beam	34.200				
Soletta	4.000 plate	32.000				
Cordolo	320 plate					

## 6.2 Identificazione dinamica

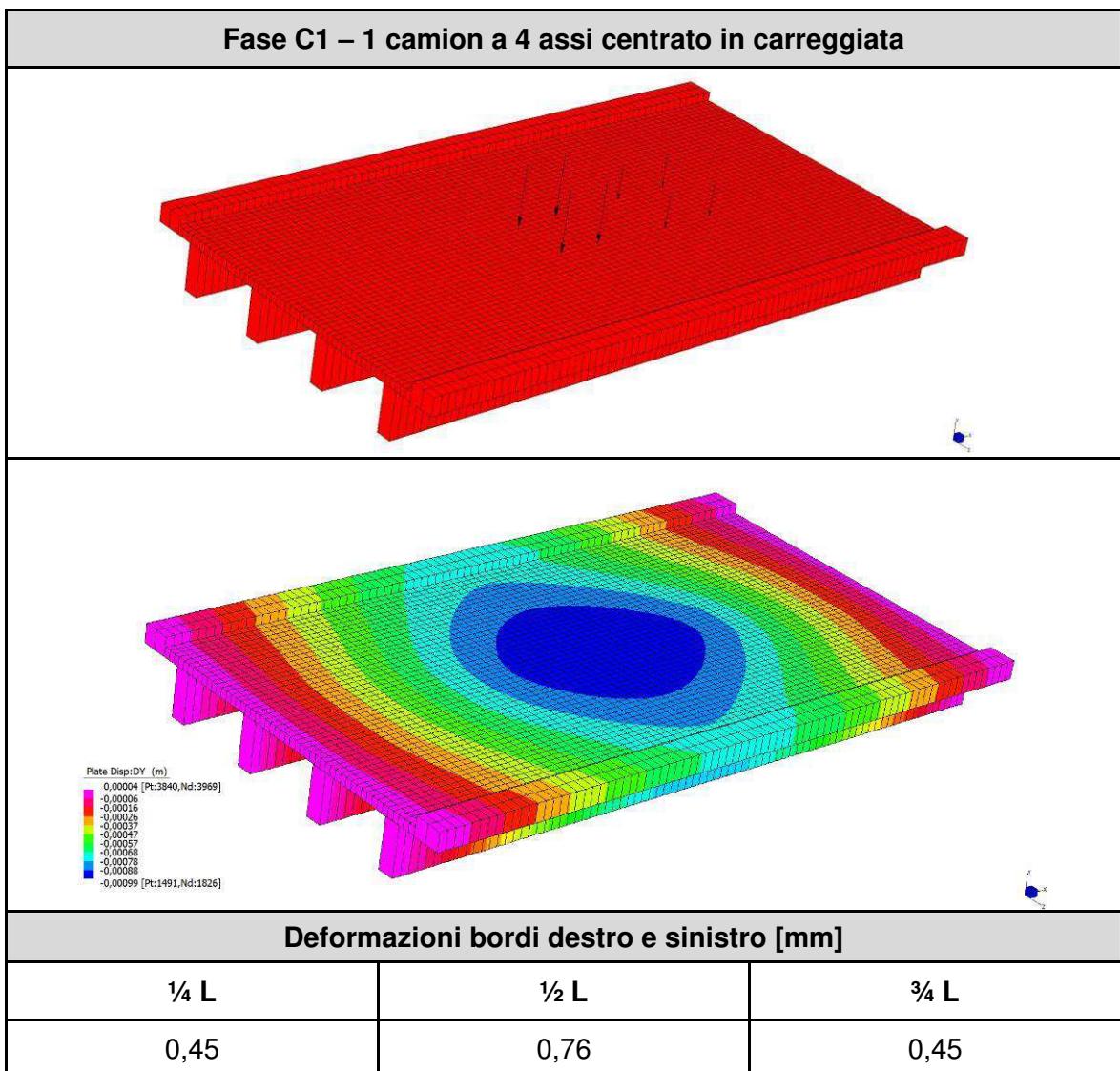
La metodologia per la valutazione delle frequenze e forme proprie di vibrazione è quella dell'analisi modale. Essa richiede esclusivamente la conoscenza della matrice di rigidezza e della matrice di massa del sistema discretizzato. Sia la matrice di rigidezza che quella di massa della struttura è determinata attraverso il procedimento d'assemblaggio dei contributi di ciascun elemento finito. Il procedimento, implementato nel solutore Straus7, 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.



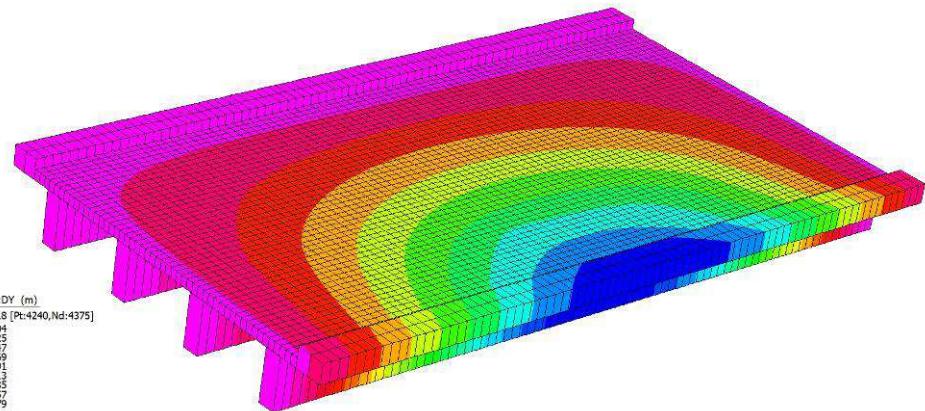
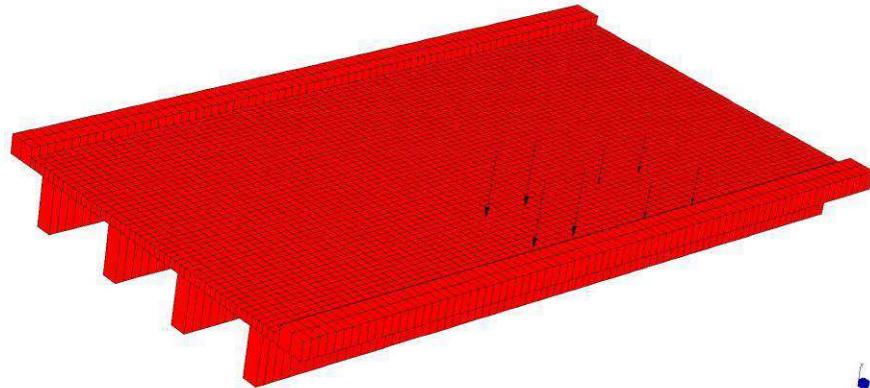


### 6.3 Analisi dello stato di deformazione dovuto alla prova di carico di analisi

A seguire le condizioni rappresentative dei carichi di prova ed i rispettivi abbassamenti.



**Fase C1dx – 1 camion a 4 assi sul lato destro della carreggiata**



**Deformazioni [mm]**

<b>Bordo destro</b>			<b>Bordo sinistro</b>
$\frac{1}{4} L$	$\frac{1}{2} L$	$\frac{3}{4} L$	$\frac{1}{2} L$
1,20	1,86	1,28	0,02

## 6.4 Analisi dello stato di sollecitazione dovuto ai carichi di normativa

La valutazione delle azioni è stata effettuata con riferimento alle azioni prescritte dal *D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni*. Nel seguito sono preciseate le modalità con cui sono state valutate le azioni e sono riportate le condizioni di carico utilizzate nell'analisi del ponte.

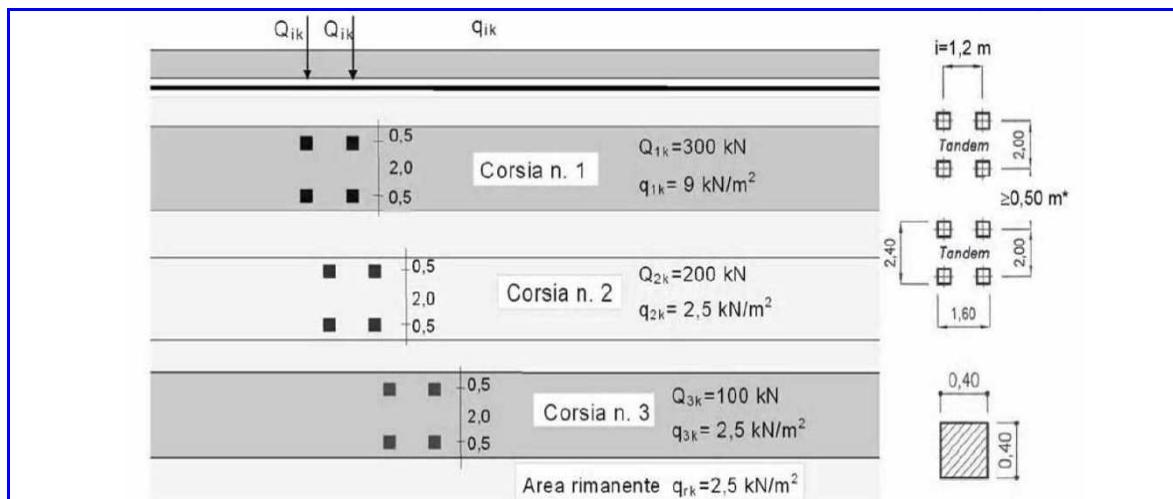
### 6.4.1 Azioni permanenti

Le azioni permanenti considerate nell'analisi sono costituite dalle forze di gravità associate al peso dei materiali.

La pavimentazione stradale è stata considerata come da progetto costituita da 20 cm di conglomerato bituminoso ( $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ ).

### 6.4.2 Azioni variabili da traffico

Le azioni accidentali considerate nei calcoli sono quelle per ponti classificati di I categoria.



Le corsie di carico da considerare nei calcoli sono funzione della larghezza della carreggiata secondo la *tabella 5.1.I delle NTC 14 gennaio 2008*.

Tabella 5.1.I - Numero e Larghezza delle corsie

Larghezza di carreggiata "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_l = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

Tabella per calcolo corsie convenzionali

- 1<sup>a</sup> corsia di carico:  
 $Q_{1k}$  carico asse da 300 kN per un totale di 600 kN  
 $q_{1k}$  carico distribuito pari a 9,00 kN/m<sup>2</sup>
- 2<sup>a</sup> corsia di carico:  
 $Q_{2k}$  carico asse da 200 kN per un totale di 400 kN  
 $q_{2k}$  carico distribuito pari a 2,50 kN/m<sup>2</sup>
- 3<sup>a</sup> corsia di carico:  
 $Q_{3k}$  carico asse da 100 kN per un totale di 200 kN  
 $q_{3k}$  carico distribuito pari a 2,50 kN/m<sup>2</sup>

- carico distribuito sull'area rimanente  $q_{rk}$  pari a  $2,50 \text{ kN/m}^2$

#### 6.4.3 Azione variabile del vento

L'azione del vento viene convenzionalmente assimilata ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse del ponte, agente sulla superficie esposta della struttura, del valore caratteristico pari a  $P_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$ .

#### 6.5 Combinazioni di carico

Si sono utilizzati i coefficienti di combinazione dei carichi previsti dagli Stati Limite Ultimi (SLU), prescritti dal *D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni*.

Le azioni di calcolo  $F_d$  si ottengono combinando le azioni caratteristiche secondo le seguenti formule di correlazione:

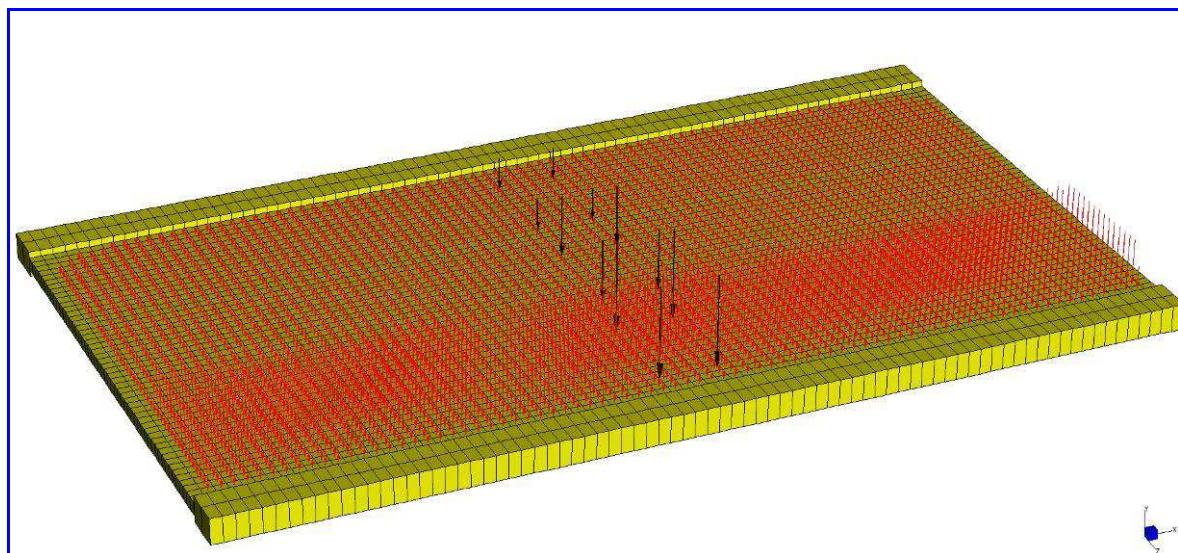
$$F_d = \gamma_G G_K + \gamma_Q Q_{1K} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_Q (\psi_{0i} Q_{iK}) \quad (\text{SLU – Combinazione fondamentale})$$

Per il significato dei coefficienti si rimanda alla Normativa suddetta, mentre nelle tabelle seguenti si riportano i loro valori.

*SLU – Combinazione fondamentale*

Combinazione	AZIONI			
	Permanenti	Permanenti non strutturali	Variabili da traffico	Vento
$F_0$	1,35	1,50	1,35	0,90

Le posizioni delle azioni variabili da traffico che determinano le maggiori sollecitazioni negli elementi strutturali si sono definite mediante l'applicativo *Bridge Load Influence Combination* del software *Straus 7*.



*Posizione carichi variabili da traffico – Massimo momento sulle travi*

## 6.6 Risultati e verifiche

In tutte le verifiche per le proprietà dei materiali si è proceduto come descritto a seguito.

- Per il calcestruzzo partendo dal valore del modulo di elasticità  $E$  adottato nel modello numerico si è ricavata la rispettiva resistenza caratteristica cilindrica a compressione secondo la formula di normativa  $E_{cm} = 22.000 \cdot [fcm/10]^{0,3}$  approssimando a favore di sicurezza all'intero inferiore: si è assunto un valore pari a 25 MPa.
- Per l'armatura delle travi si è assunta quella rilevata con la scapitozzatura eseguita sulla trave di bordo sinistro della III campata da monte.
- Per la tensione di snervamento dell'acciaio, non essendo stato prelevato alcun ferro, si è assunta quella indicata nei calcoli progettuali al momento della costruzione (1960) e confermata dalle prove di laboratorio eseguite nel 2000 su uno spezzzone, ossia  $f_{yk} = 315$  MPa corrispondente a quella di un acciaio FeB38K.

Per le verifiche delle sezioni in c.a. delle sollecitazioni di presso-tensoflessione si è utilizzato il programma VcaSlu, software di libera distribuzione che consente di eseguire verifiche con il metodo degli stati limite; il calcolo è condotto nell'ipotesi che le sezioni rimangano piane fino a rottura, di modo che il diagramma delle deformazioni specifiche nella sezione si conservi rettilineo.

La verifica a taglio si conduce con riferimento alle *NTC 2008 – cap. 4.1.2.1.3.2 Elementi con armature trasversali resistenti al taglio*.

### 4.1.2.1.3.2 Elementi con armature trasversali resistenti al taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \operatorname{ctg} \theta \leq 2,5 \quad (4.1.16)$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad (4.1.17)$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad (4.1.18)$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad (4.1.19)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

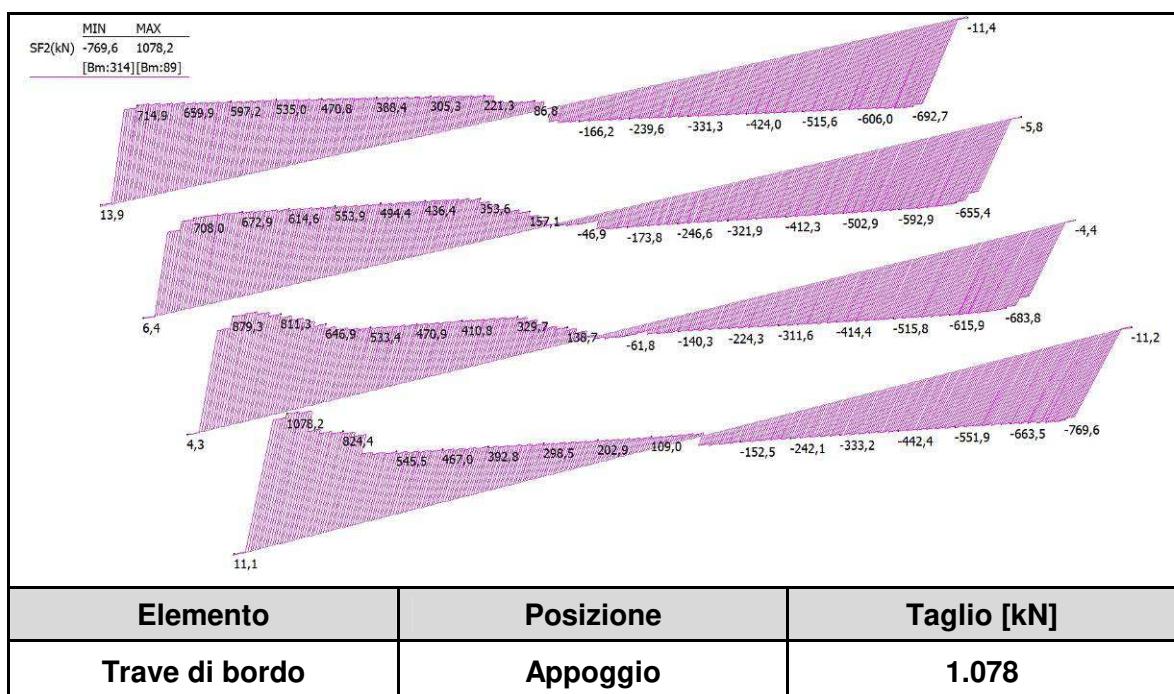
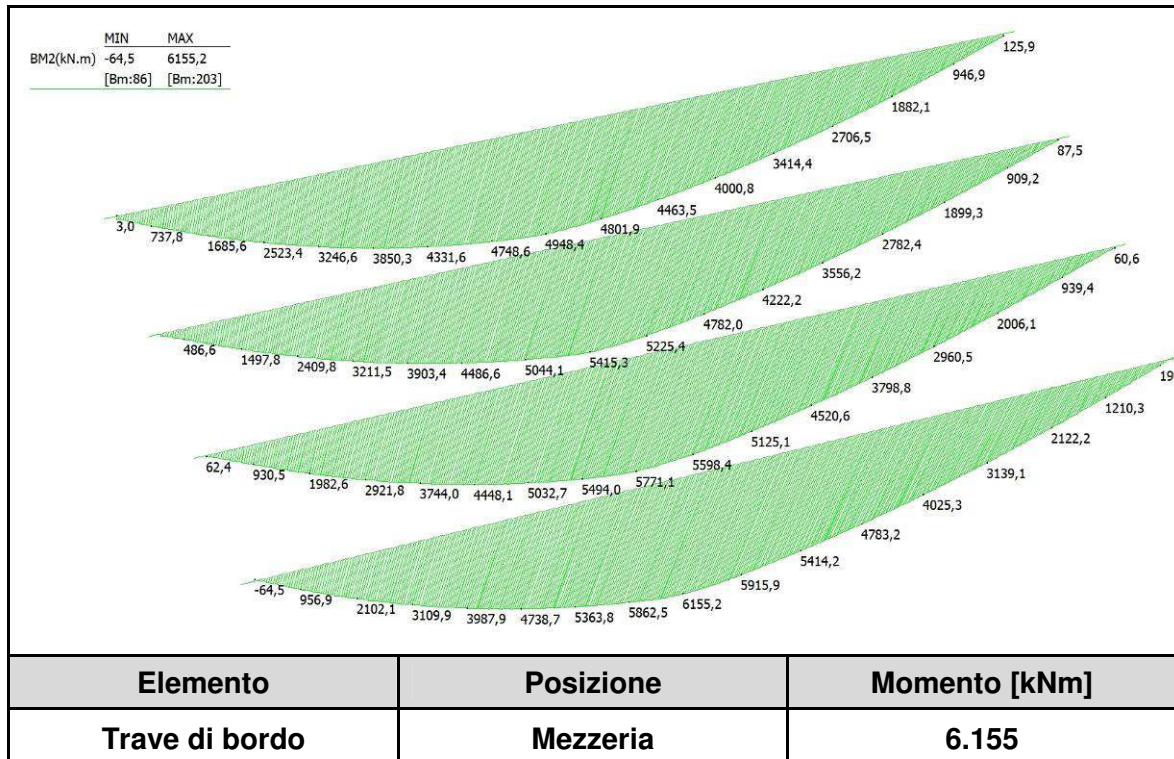
$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad (4.1.20)$$

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\alpha_c$  hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

$A_{sw}$	area dell'armatura trasversale;								
$s$	interasse tra due armature trasversali consecutive;								
$\alpha$	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;								
$f'_{cd}$	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );								
$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>1</td> <td>per membrature non compresse</td> </tr> <tr> <td><math>1 + \sigma_{cp}/f_{cd}</math></td> <td>per <math>0 \leq \sigma_{cp} &lt; 0,25 f_{cd}</math></td> </tr> <tr> <td>1,25</td> <td>per <math>0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}</math></td> </tr> <tr> <td><math>2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})</math></td> <td>per <math>0,5 f_{cd} &lt; \sigma_{cp} &lt; f_{cd}</math></td> </tr> </table>	1	per membrature non compresse	$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$	1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$	$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$
1	per membrature non compresse								
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$								
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$								
$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$								

### 6.6.1 Risultati

Per la combinazione di carico agli SLU con carichi di I categoria, a seguire i diagrammi delle azioni di momento flettente e taglio con i massimi valori ricavati.



## 6.6.2 Verifiche con carichi di I categoria

### Verifica massima azione flettente – Mezzeria trave di bordo

I disegni di progetto forniti dalla Committenza riportano per la trave di bordo 4 file di barre, precisamente partendo dal basso 10 Ø 32, 6 Ø 32, 8 Ø 32 e 6 Ø 32. La scapitozzatura ha rilevato sulla trave di bordo sinistro della III campata da monte le stesse barre per le file superiori, ma per la fila inferiore invece di 10 Ø 32 si sono osservati 7 Ø 30 molto corrosi: per tenere conto di questa riduzione di sezione nelle verifiche si considerano 7 Ø 28.

Proprietà materiali

Calcestruzzo		Acciaio	
E	f <sub>ck</sub>	E <sub>s</sub>	f <sub>yk</sub>
32.000	25	200.000	315

Caratteristiche sezione rettangolare

Sezione	B/H [cm]	Copriferro [cm]	Armatura			
			Inferiore		Superiore	
			nr. / Ø	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	nr. / φ	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]
Mezzeria	50/143	0,5	7 Ø 28	43,10	2 Ø 20	6,28
			6 Ø 32	48,25		
			8 Ø 32	64,34		
			6 Ø 32	48,25		

Verifica sezione

**Titolo :** **Momento resistente trave di bordo**

N° figure elementari **1** **Zoom** N° strati barre **4** **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	50	143

N°	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	43,10	142,5
2	48,25	138
3	64,34	134
4	48,25	130

**Sollecitazioni**  
S.L.U. **Metodo n**

N <sub>Ed</sub> <b>0</b> kN	M <sub>xEd</sub> <b>0</b> kNm	M <sub>yEd</sub> <b>0</b> kNm
-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------

**Punto applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN **0** yN **0**

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

FeB32k	C25/30
ε <sub>su</sub> <b>67,5</b> %	ε <sub>c2</sub> <b>2</b> %
f <sub>yd</sub> <b>273,9</b> N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub> <b>3,5</b>
E <sub>s</sub> <b>200.000</b> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> <b>14,17</b>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <b>15</b>	f <sub>cc</sub> / f <sub>cd</sub> <b>0,8</b>
ε <sub>syd</sub> <b>1,37</b> %	σ <sub>c</sub> <b>-14,17</b> N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>s,adm</sub> <b>155</b> N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> <b>273,9</b> N/mm <sup>2</sup>
τ <sub>co</sub> <b>0,6</b>	ε <sub>c</sub> <b>3,5</b> %
τ <sub>c1</sub> <b>1,829</b>	ε <sub>s</sub> <b>1,719</b> %

M<sub>xRd</sub> **5.270** kNm

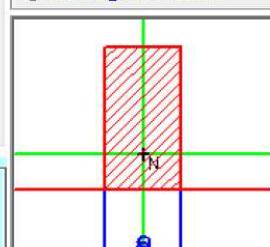
σ<sub>c</sub> **-14,17** N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub> **273,9** N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub> **3,5** %  
ε<sub>s</sub> **1,719** %  
d **142,5** cm  
x **95,57** x/d **0,6706**  
δ **1**

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U. +  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

N° rett. **100**  
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
L<sub>o</sub> **0** cm **Col. modello**  
 Precompresso

**Tipo Sezione**  
 Rettangolo  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.



**Momento resistente trave di bordo**

**M<sub>Rd</sub> – Resistente** **5.270 kNm**

**M<sub>Ed</sub> – Sollecitante** **6.155 kNm**

**M<sub>Rd</sub> < M<sub>Ed</sub>** **verifica NON soddisfatta**

### Verifica massima azione di taglio – Appoggio trave di bordo

Si considerano le staffe rilevate con la scapitozzatura, mentre per i ferri piegati si considerano quelli riportati nelle tavole di progetto fornite dalla Committenza.

Proprietà materiali

Calcestruzzo		Acciaio	
E	f <sub>ck</sub>	E <sub>s</sub>	f <sub>yk</sub>
32.000	25	200.000	315

Caratteristiche sezione

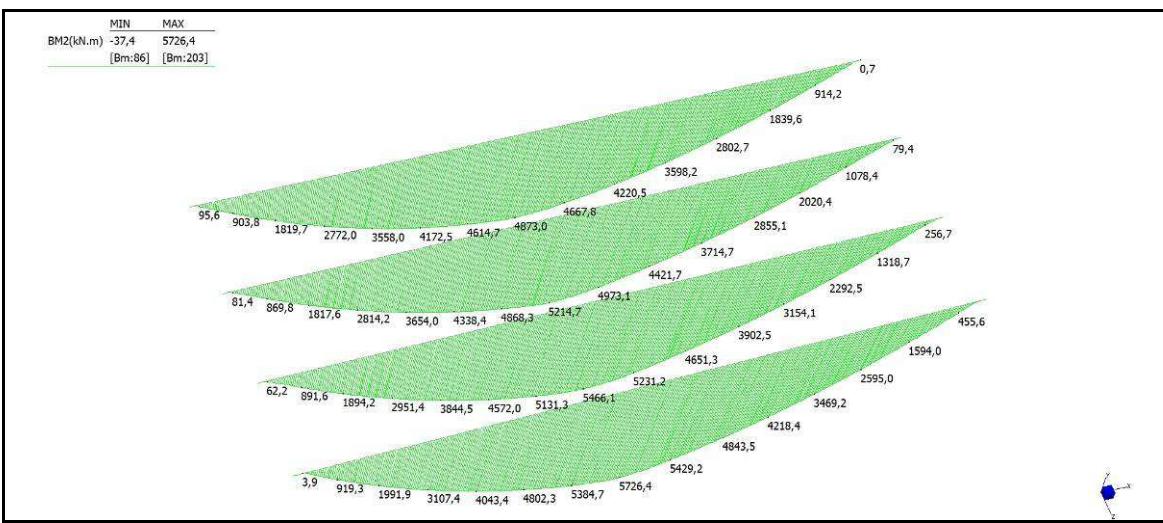
Sezione	B/H [cm]	Armatura a taglio			
		Staffe		Ferri piegati	
		Nr. bracci	diametro [mm]	passo [cm]	diametro [mm]
Appoggio	50/143	2	14	24	4 Ø 32
					50

Verifica sezione

Taglio Resistente [kN]		Taglio Sollecitante [kN]		V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>
V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rd</sub>	V <sub>Ed</sub>	
6.720	1.560	<b>1.560</b>	1.078 kN	verifica soddisfatta

### 6.6.3 Verifiche con carichi di II categoria

La verifica per i carichi di I categoria è risultata non soddisfatta alla massima azione flettente in mezzeria della trave di bordo: si è quindi proceduto a disporre sul modello agli elementi finiti i carichi previsti per un ponte di II categoria, per il quale si devono considerare sulla corsia n.1 un carico asse Q<sub>1k</sub> = 240 kN ed un carico distribuito q<sub>ik</sub> = 7,20 kN/m<sup>2</sup>; le altre corsie rimangono invariate.



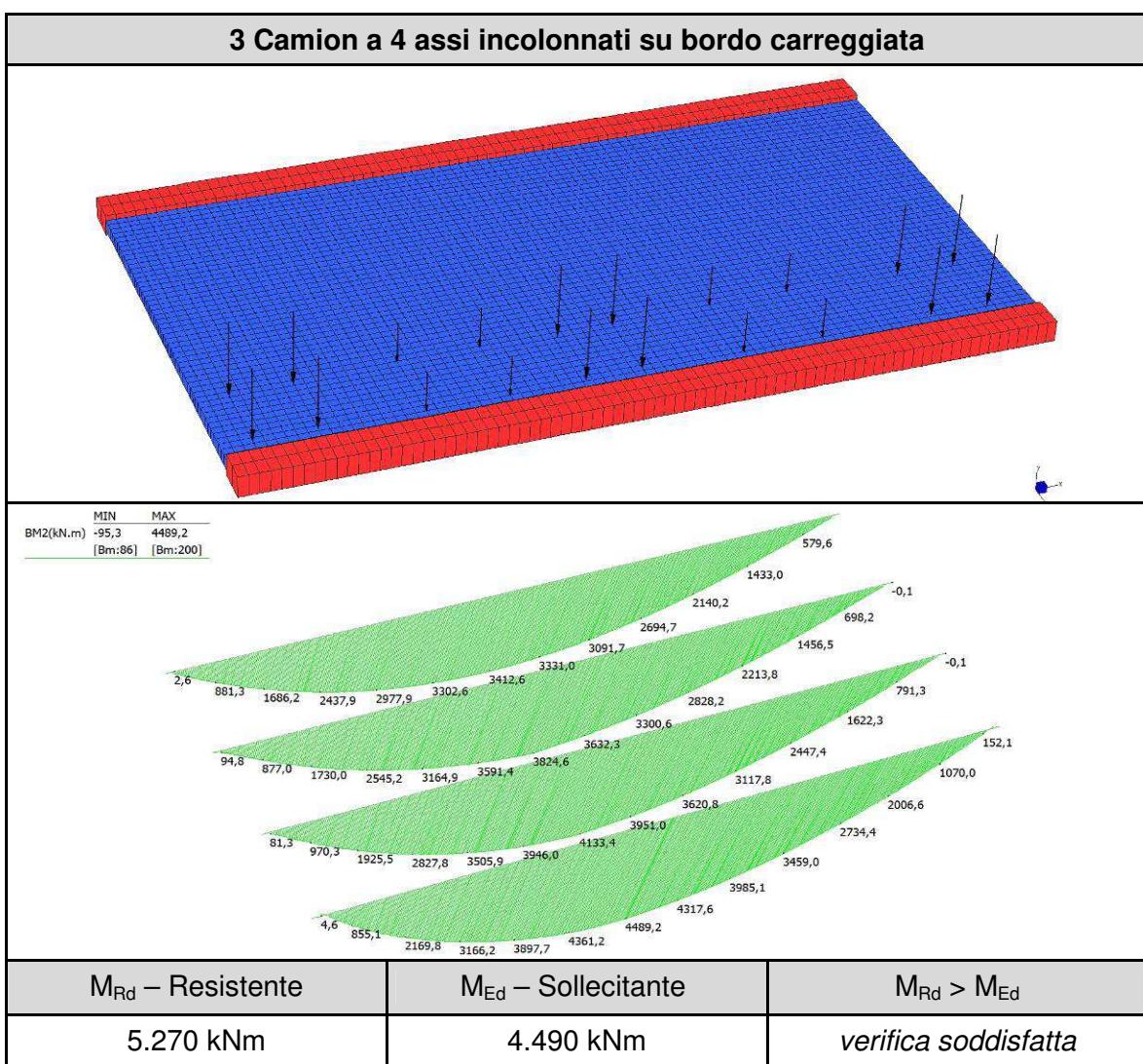
M <sub>Rd</sub> – Resistente	M <sub>Ed</sub> – Sollecitante	M <sub>Rd</sub> < M <sub>Ed</sub>
5.270 kNm	<b>5.726 kNm</b>	verifica <b>NON</b> soddisfatta

#### 6.6.4 Verifiche con carichi reali

I carichi di I e II categoria previsti dalle *NTC 2008* non sono verificati per la massima azione flettente in mezzeria delle travi.

Si sono posizionati sull'impalcato dei carichi reali in diverse condizioni ed a seguire si riportano gli schemi utilizzati nella simulazione numerica ed i risultati delle verifiche.

Camion a 4 assi										
1-3	Peso [kN]			Distanze [m]						
	Ant.	Post.	Totale	A	B	C	D	E	F	G
	140,0	260,0	400,0	1,40	2,00	2,50	1,50	1,45	2,10	1,85
										2,50

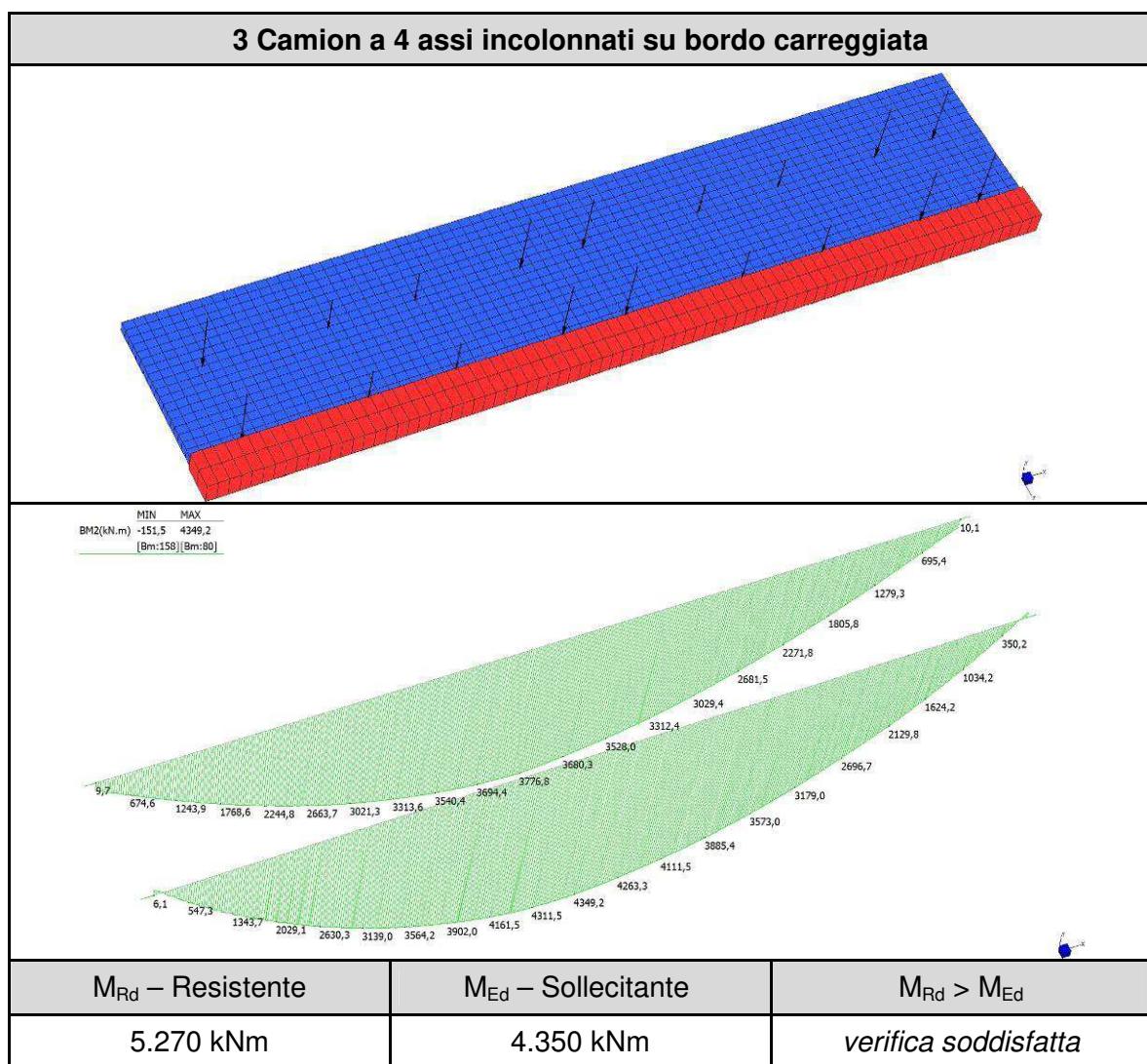


### 6.6.5 Verifiche con carichi reali simulando la demolizione di metà impalcato

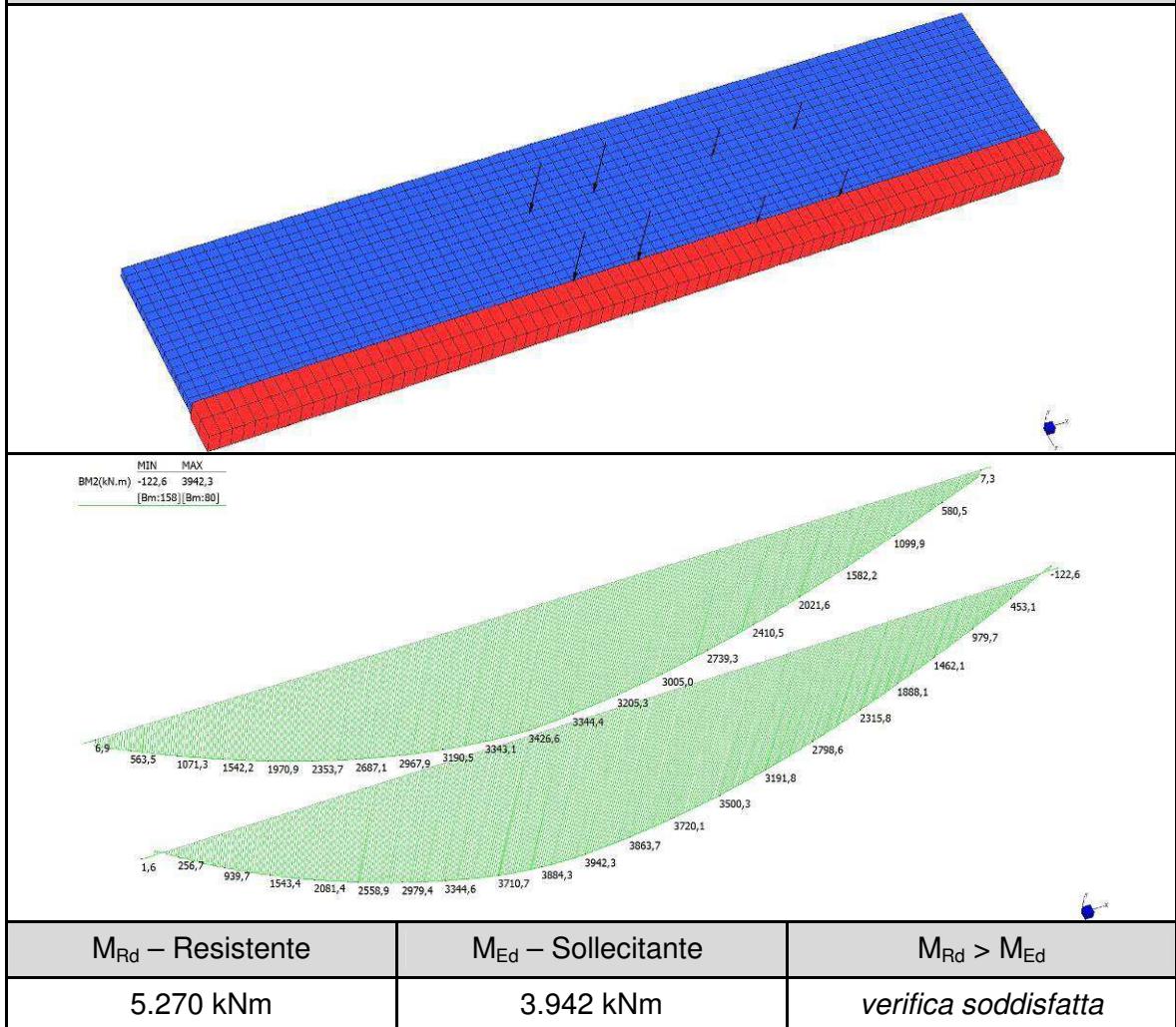
Su richiesta della Committenza si è provveduto a simulare il taglio longitudinale dell'impalcato a filo di una delle travi centrali ed a posizionare sulla parte restante d'impalcato dei carichi reali in diverse condizioni.

A seguire gli schemi utilizzati nella simulazione numerica ed i risultati delle verifiche.

Camion a 4 assi											
1-3	Peso [kN]			Distanze [m]							
	Ant.	Post.	Totale	A	B	C	D	E	F	G	H
	140,0	260,0	400,0	1,40	2,00	2,50	1,50	1,45	2,10	1,85	2,50



### 1 Camion a 4 assi in mezzeria su bordo carreggiata



## 7 CONSIDERAZIONI FINALI

Dalle indagini e dalle elaborazioni eseguite si possono trarre le considerazioni seguenti.

- L'ispezione visiva ha evidenziato 7 Non Conformità, costituite dalla corrosione con riduzione di sezione resistente delle armature sui pulvini (NC1); dall'assenza delle scossaline su tutti i giunti (NC2); dal distacco del copriferro (NC3) sulle travi con pericolo di caduta di porzioni di calcestruzzo sulla strada sottostante; dalla corrosione con riduzione di sezione delle armature (NC4) e delle staffe (NC5) sulle travi; dall'elevato dilavamento dei traversi (NC6) in corrispondenza dei giunti; dalla corrosione con riduzione di sezione resistente delle armature sulla soletta (NC7).
- L'ispezione visiva consiglia 4 Azioni Preventive, rappresentate dal controllo ogni 6 mesi per un periodo di 2 anni della fessura orizzontale (AP1) e di quella verticale (AP2) sulla spalla di monte, della fessura verticale sul pulvino della III pila da monte (AP4), dalla verifica della presenza di un eventuale scalzamento alla base delle pile in alveo nei periodi in cui l'alveo lo consente.
- I rilievi eseguiti con il pacometro hanno evidenziato un copriferro minimo di 10 mm sulle facciate laterali delle travi, di 25 mm sulla soletta e di 35 mm sui traversi; all'intradosso delle travi il copriferro non esiste più.
- I risultati delle indagini di pull-out eseguite su travi e soletta hanno fornito valori per la resistenza media del calcestruzzo pari rispettivamente a 28,0 e 35,9 MPa.
- I risultati delle prove di laboratorio sulle carote estratte dalla trave, dal traverso e dalla soletta hanno fornito valori di resistenza del calcestruzzo pari rispettivamente a 83,3 MPa, 26,9 MPa e 29,5 MPa.
- I risultati della prova di carbonatazione eseguita sulle carote hanno evidenziato valori maggiori dello spessore del copriferro sulla trave e sulla soletta.
- La caratterizzazione dinamica sperimentale ha evidenziato su tutte le campate due forme modali fondamentali, una verticale flessionale ed una verticale torsionale: per la campata più flessibile i rispettivi valori di frequenza sono pari a 8,0 Hz e 9,3 Hz.
- La prova di carico con carichi ridotti ha mostrato comportamenti elastici e ripetibili con valori di residuo trascurabili.
- L'ottima corrispondenza dei parametri dinamici e statici tra modello numerico e valori sperimentali dimostra che il modello è stato calibrato garantendoci sull'affidabilità delle risposte.

Nelle tabelle seguenti si riportano in sintesi:

- il confronto tra frequenze proprie teoriche e sperimentali;
- il confronto tra frecce teoriche e frecce sperimentali;
- le verifiche agli SLU per il modello intero e per la simulazione del taglio longitudinale di metà impalcato a filo di una delle travi centrali.

*Confronto tra frequenze proprie teoriche e sperimentali*

MODO	DESCRIZIONE	FREQUENZA [Hz]	
		Sperimentale	Teorico
I	Verticale flessionale	8,0	8,0
II	Verticale torsionale	9,3	9,2

*Confronto tra frecce teoriche e sperimentali*

Carico applicato [kN]	Condizione di carico	Freccia	DEFORMAZIONI [mm]	
			Bordo destro	Bordo sinistro
			$\frac{1}{2} L$	$\frac{1}{2} L$
401	1 Camion a 4 assi con primo asse posteriore in mezzeria e centrato sulla carreggiata	Sperimentale	0,65	0,76
		Teorica	0,76	0,76
	1 Camion a 4 assi con primo asse posteriore in mezzeria e posizionato sul bordo destro della carreggiata	Sperimentale	1,90	0,02
		Teorica	1,86	0,02
	1 Camion a 4 assi con primo asse posteriore in mezzeria e posizionato sul bordo sinistro della carreggiata	Sperimentale	0,02	1,86
		Teorica	0,02	1,86

*Resistenza a taglio trave di bordo*

Combinazione	Taglio [kN]		
	Sollecitante $T_{s,d}$	Resistente $T_{r,d}$	Verifica
NTC 2008 I categoria	1.078	1.560	✓

*Resistenza a flessione trave di bordo*

Combinazione	Momenti [kNm]		
	Sollecitante $M_s$	Resistente $M_{r,d}$	Verifica
NTC 2008 I categoria	6.155		✗
NTC 2008 II categoria	5.726		✗
Colonna di 3 camion a 4 assi da 400 kN su bordo destro della carreggiata		5.270	
	4.490		✓

*Demolizione impalcato a filo di una trave centrale  
Resistenza a flessione trave di bordo*

Combinazione	Momenti [kNm]		
	Sollecitante $M_{s,d}$	Resistente $M_{r,d}$	Verifica
<i>Colonna di 3 camion a 4 assi da 400 kN su bordo dx</i>	4.350	5.270	✓
<i>1 Camion a 4 assi da 400 kN con primo asse posteriore in mezzeria su bordo destro della carreggiata</i>	3.942		✓

Bolzano, 8 settembre 2017

Il relatore  
ing. Maurizio Bruson



Relazione revisionata da  
ing. Roberto Bruson

