



COMUNE DI RAVENNA

AREA INFRASTRUTTURE CIVILI
SERVIZIO STRADE



Sistema di Qualità certificato per:
Progettazione, programmazione,
affidamento, direzione lavori
dei lavori pubblici
e delle manutenzioni;
gestione espropri.

INTERVENTI SUL PONTE IN VIA RAVEGNANA (A16)

PROGETTO PRELIMINARE - DEFINITIVO - ESECUTIVO

Segretario Generale: Dott. PAOLO NERI		Assessore ai LL.PP.: Sig. ROBERTO GIOVANNI FAGNANI		Capo Area: Ing. MASSIMO CAMPRINI	
Capo Servizio: Ing. ANNA FERRI			Sindaco: Sig. MICHELE DE PASCALE		
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:		Ing.FULVIO CUNDARI		Firme:	
PROGETTISTA COORDINATORE:		ing.FULVIO CUNDARI		_____	
PROGETTISTA OPERE STRUTTURALI (ESTERNO):		Ing.FRANCESCO BARTOLI		_____	
PROGETTISTA OPERE STRADALI:		Ing.LEONARDA PRINCIPATO		_____	
PROGETTISTA OPERE DI VIABILITA'				_____	
E SEGNALETICA STRADALE:		Ing: IVAN BROSIO		_____	
COLLABORATORE PER I SISTEMI DI MOBILITA':		Geom. ROSARIA CIANCIULLI		_____	
COLLABORATORE PER LE OPERE DI P.I.:		P.I. IVANO PAPA		_____	
COORD. SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:		Ing.LEONARDA PRINCIPATO		_____	
ELABORAZIONE GRAFICA:		Dis. FRANCA BERTOZZI		_____	
		Geom. ELISA FORTIBUONI		_____	
RILIEVI:		Sig. ANDREA GHIBERTI		_____	

0	EMISSIONE	FB	LP	FC	NOV. 2017
Rev.	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data:

ELABORATO:

VERIFICA GENERALE PONTE VIA RAVEGNANA 4EMME SERVICE S.P.A.

Fascicolo: 2017/06.05/264	Data: NOVEMBRE 2017	Codice Elaborato: R_1002
Scala:	File:	Revisione: R0



COMUNE DI RAVENNA
AREA INFRASTRUTTURE CIVILI
SERVIZIO STRADE
U.O. STRADE CENTRO/SUD E CICLO IDRICO INTEGRATO

INTERVENTI SUL PONTE IN VIA RAVEGNANA (A16)

PROGETTO PRELIMINARE-DEFINITIVO-ESECUTIVO

ELABORATO: R_1002

**VERIFICA GENERALE PONTE VIA RAVEGNANA -
- 4EMME SERVICE S.P.A.**

Emissione:
Ravenna lì, 30 /11/ 2017



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 www.4emme.it

Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S

VERIFICA GENERALE

PONTE 02.A.016 P.MONTONE – VIA RAVEGNANA

RAVENNA SUD – COMUNE DI RAVENNA

Prove nr. 1586 e 1612/AA

luglio – dicembre 2015

Committente:

Comune di Ravenna

Area Infrastrutture Civili

Servizio Strade

Responsabile dei Lavori:

ing. Fulvio Cundari

Dichiarazione di idoneità statica:

ing. Settimo Martinello

Relatori:

ing. Andrea Cimino

ing. Americo Fallucca



Ponte 02.A.016 P. Montone – Via Ravennana

AA/045/15

Bolzano, 1 marzo 2016

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	Laboratori Autorizzati	
Bologna 051-6346808	Genova 010-596195	Palermo 091-6703629	Treviso 0438-990200	Bolzano 0471-543111	
Cagliari 070-490732	Milano 02-40092545	Piacenza 0523-766849	Verona 046-8004278	Milano 02-40092545	
Como 031-305253	Modena 059-395414	Roma 06-71546892			

INDICE

1	PREMESSA.....	4
1.1	Descrizione della struttura	5
2	RILIEVO DELLA STRUTTURA CON TECNOLOGIA LASER SCANNER	6
2.1	Funzionamento	6
2.2	Caratteristiche tecniche	6
2.3	Acquisizione.....	6
2.4	Trattamento dei dati.....	7
3	ISPEZIONE VISIVA PRIMARIA	8
3.1	Non Conformità.....	8
3.2	Azioni Preventive	9
4	PROVE DI OMOGENEITÀ.....	10
4.1	Strumentazione impiegata	10
4.2	Posizione degli strumenti	10
4.3	Analisi dei risultati	11
5	INDAGINI SPERIMENTALI.....	13
5.1	Rilievo pacometrico delle armature	13
5.1.1	Ubicazione delle prove.....	14
5.1.2	Risultati.....	15
5.2	Prove di Pull-Out.....	21
5.2.1	Ubicazione delle prove.....	22
5.2.2	Risultati.....	23
5.3	Carotaggi.....	33
5.3.1	Ubicazione delle prove	34
5.3.2	Prove di laboratorio sulle carote di calcestruzzo	36
5.3.3	Risultati.....	37
5.4	Determinazione della profondità di carbonatazione del calcestruzzo	38
5.4.1	Risultati.....	39
5.5	Controlli ultrasonici sul calcestruzzo	44
5.5.1	Ubicazione delle prove	45
5.5.2	Risultati.....	46
5.6	Scapitozzatura e prelievo armatura.....	58
5.6.1	Scapitozzatura.....	59
5.6.2	Prelievo di armatura.....	59
5.6.3	Prova meccanica di trazione.....	59
6	CARATTERIZZAZIONE DINAMICA.....	61
6.1	Strumentazione impiegata	61
6.2	Posizione degli strumenti	61
6.3	Acquisizione dei dati	61
6.4	Modalità di elaborazione	62
6.5	Applicazione degli impulsi	62
6.6	Analisi dei dati.....	62

6.7	Risultati.....	64
7	PROVA DI CARICO STATICA DI ANALISI.....	65
7.1	Strumentazione.....	65
7.2	Applicazione del carico	66
7.3	Descrizione della prova.....	66
7.4	Risultati.....	68
7.5	Ispezione visiva post prova di carico.....	69
8	SIMULAZIONE NUMERICA.....	70
8.1	Il modello agli elementi finiti	71
8.2	Identificazione dinamica.....	72
8.3	Analisi dello stato di deformazione dovuto alla prova di carico di analisi	73
8.4	Analisi dello stato di sollecitazione dovuto ai carichi di normativa	75
8.4.1	Azioni permanenti	75
8.4.2	Azioni variabili da traffico	75
8.4.3	Azione variabile del vento	76
8.4.4	Azione sismica.....	76
8.5	Combinazioni di carico	78
8.6	Risultati e verifiche.....	79
8.6.1	Verifica dell'analisi spettrale per l'azione sismica.....	80
8.6.2	Verifica massima azione flettente	84
8.6.3	Verifica massima azione di taglio.....	85
8.6.4	Verifiche con carichi di II categoria	86
8.6.5	Verifica azione sismica agli appoggi	86
8.7	Simulazione della prova di carico di verifica.....	87
8.7.1	Carichi applicati	87
8.7.2	Sollecitazioni e frecce massime	87
9	PROVA DI CARICO STATICA DI VERIFICA.....	88
9.1	Strumentazione.....	88
9.2	Applicazione del carico	89
9.3	Descrizione della prova.....	89
9.4	Risultati.....	90
10	STIMA DEI COSTI DI RISANAMENTO.....	92
11	CONSIDERAZIONI FINALI	94
	DICHIARAZIONE DI IDONEITÀ	97

ALLEGATI

Tavola del rilievo

Certificati di Laboratorio

1 PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.A.* specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito è stata incaricata dal **Comune di Ravenna**, con determinazione dirigenziale n. D23/2015 di eseguire una serie di indagini sul ponte in oggetto per fornire al consulente incaricato, l'ing. Settimo Martinello, le informazioni necessarie alla stesura dell'idoneità statica.

I riferimenti alle posizioni sono quelli che nascono seguendo lo sviluppo orografico del corso d'acqua con le spalle posizionate verso la sorgente; ci saranno quindi destra, sinistra, monte e valle.

In particolare sono state eseguite:

- rilievo geometrico con laser scanner;
- ispezione visiva;
- prove di omogeneità;
- prove di pull-out, controlli ultrasonici, scapitozzatura e prelievo armatura;
- carotaggi e relative prove di compressione in laboratorio autorizzato;
- determinazione della profondità della carbonatazione del calcestruzzo;
- caratterizzazione dinamica;
- prove di carico statiche di analisi e di verifica;
- modellazione numerica calibrata e verifiche di normativa;
- dichiarazione di idoneità statica.



Ubicazione del ponte 02.A.016

Tutte le indagini e le elaborazioni sono state eseguite tra luglio e dicembre 2015 dal personale della *4 EMME Service S.p.A.* nelle persone dell'ing. Maurizio Bruson, ing. Federico Corazzola, ing. Andrea Cimino, ing. Americo Fallucca, ing. Thomas Vassalli, ing. Giovanni Amadei, geom. Michele Vaccari, geom. Andrea Toni e geom. Antonio Mangia; l'organizzazione generale è stata gestita dall'ing. Roberto Bruson.

1.1 Descrizione della struttura

Impalcato:	travi, traversi e soletta in c.a.
Ubicazione:	via Ravennana
Ostacolo oltrepassato:	scolo Montone
Nr. campate:	4
Luce campate:	11,9; 12,7; 12,5; 11,9 m
Larghezza impalcato:	7,9 m
Larghezza carreggiata:	6,7 m
Nr. corsie:	2
Protezioni laterali:	guardrail con corrimano



Intradosso



Frontale

Il manufatto presenta sui bordi laterali cordoli in c.a. continui per tutta la lunghezza delle quattro campate isostatiche.

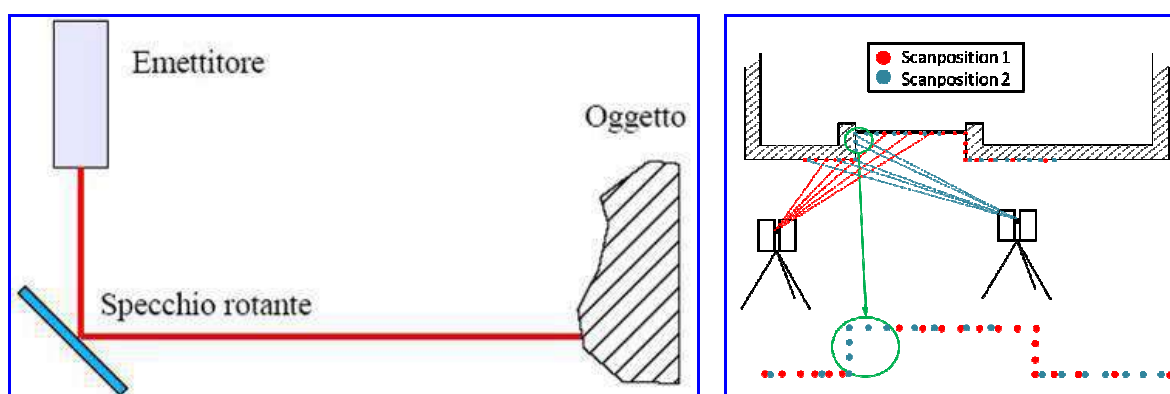
2 RILIEVO DELLA STRUTTURA CON TECNOLOGIA LASER SCANNER

Il rilievo della struttura è stato effettuato utilizzando un laser scanner 3D FARO LS880. Scopo del rilievo laser scanner è quello di ricostruire le caratteristiche geometriche del ponte in oggetto. Gli elaborati in scala si trovano negli allegati.

2.1 Funzionamento

Il laser scanner è un dispositivo ottico - meccanico capace di emettere un impulso elettromagnetico e di ricevere il segnale riflesso, misurando l'intervallo di tempo trascorso e quindi la distanza tra lo strumento ed il punto rilevato. Il raggio laser viene deflesso mediante un meccanismo di specchi rotanti ed oscillanti che con il variare dell'angolo azimutale e zenitale, illumina il terreno in punti contigui. Questo sistema opera misurando migliaia di punti al secondo e formando delle "nuvole di punti". Per ogni misurazione (x,y,z), il sistema fornisce l'intensità del segnale di ritorno descrivendo la superficie dell'oggetto scansionato.

La precisione dello strumento varia al variare della distanza e dell'angolo di incidenza del raggio ed è data dalla combinazione di tutti gli errori insiti nel sistema. Tanto più accurata deve essere la scansione, tanti più punti ravvicinati saranno posti a scansione.



Principio di funzionamento

2.2 Caratteristiche tecniche

E' stato utilizzato il laser scanner FOCUS^{3D} X 130 con le seguenti caratteristiche tecniche.

- Distanza: 0,6 m - 130 m
- Velocità di misura: 122.000 punti/secondo
- Campo visivo verticale: 300°
- Campo visivo orizzontale: 360°
- Risoluzione verticale: 0.009°
- Risoluzione orizzontale: 0.009°
- Macchina fotografica integrata con risoluzione fino a 70 megapixel a colori
- Inclinometro, bussola, altimetro e gps integrati.



Tutte le acquisizioni sono state memorizzate su scheda SD interna allo scanner.

2.3 Acquisizione

L'acquisizione prevede il posizionamento dello strumento sul treppiede telescopico la cui base è disposta orizzontalmente mediante un controllo con bolla sferica.

Il risultato dell'acquisizione è costituito da una o più nuvole di punti ad altissima densità che descrivono con estremo dettaglio quanto compare nel campo di vista dello strumento.

I dati acquisiti permettono la determinazione di tutte le caratteristiche geometriche della struttura.



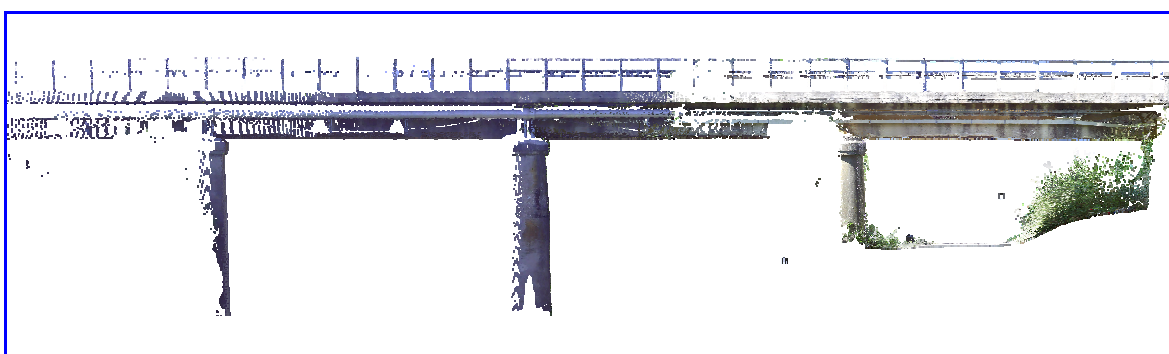
Stazione d'acquisizione

2.4 Trattamento dei dati

Nelle seguenti immagini si riportano esempi di visualizzazione dei dati provenienti dal laser scanner.



Immagine bidimensionale a 360°



Prospetto 3D di valle delle prime 3 campate da sinistra

3 ISPEZIONE VISIVA PRIMARIA

L'ispezione visiva è stata eseguita nel giugno del 2014 e presentata con la relazione AA/012/14 del 31/12/2014.

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

A seguire si riporta la sintesi dei risultati con in evidenza le 4 Non Conformità riscontrate e l'Azione Preventiva consigliata: le immagini sono riportate con il numero di foto corrispondente alla specifica relazione di ispezione.

3.1 Non Conformità

NC 1



Foto 3: su entrambe le spalle gli appoggi con le travi risultano deteriorati con conseguente diminuzione della superficie d'appoggio.

NC 2



Foto 9: sulle pile, in prossimità degli appoggi si nota il deterioramento del calcestruzzo con conseguente diminuzione della superficie d'appoggio.

NC 3



Foto 19: nelle zone delle travi di bordo in cui è avvenuto il distacco del copriferro l'armatura affiorante è corrosa con riduzione di sezione resistente.

NC 4



Foto 20: ovunque all'intradosso delle travi esterne le staffe sono corrose con sezione resistente ridotta.

3.2 Azioni Preventive

AP 1



NOTA: si consiglia di verificare la presenza di un possibile scalzamento alla base delle pile nel periodo in cui l'alveo presenterà delle condizioni di magra.

4 PROVE DI OMOGENEITÀ

Lo scopo delle prove di omogeneità è quello di determinare una gerarchia delle campate in funzione della rigidità, attraverso il rilievo della prima frequenza verticale flessionale di ognuna, in modo da poter eseguire le prove di carico su quelle che risultano più flessibili.

4.1 Strumentazione impiegata

La misura delle frequenze proprie della struttura è stata eseguita utilizzando 1 tromografo digitale Microsismic 6S costituito da 3 terne accelerometriche e 3 terne geofoniche.

Tutti i rilievi sono stati eseguiti a ponte completamente scarico.

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

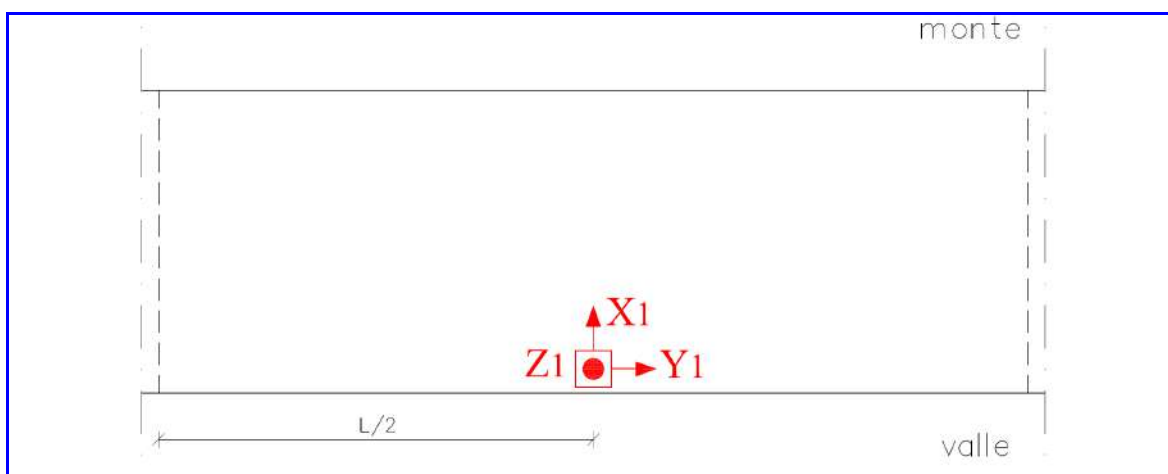
Il campionamento è stato di 512 Hz.



Microsismic

4.2 Posizione degli strumenti

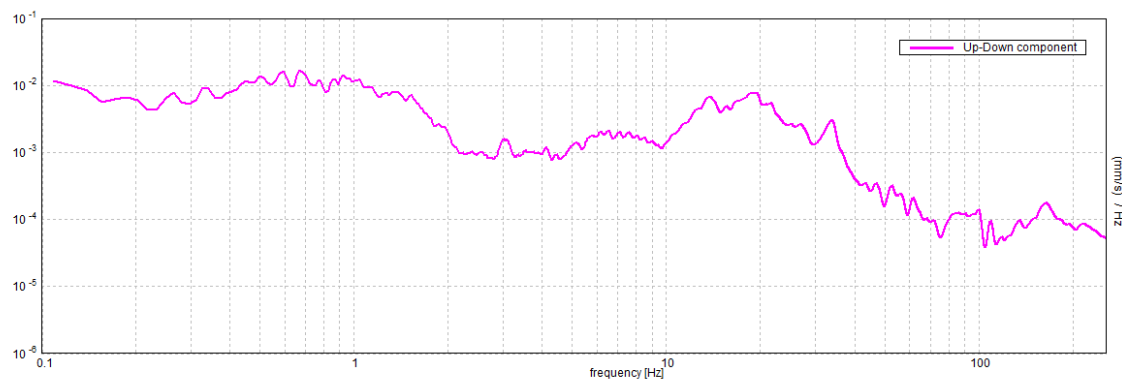
Il Microsismic è stato sempre posizionato sul lato valle nella mezzeria di ogni campata, come indicato nello schema seguente, con il sensore longitudinale parallelo all'asse stradale.



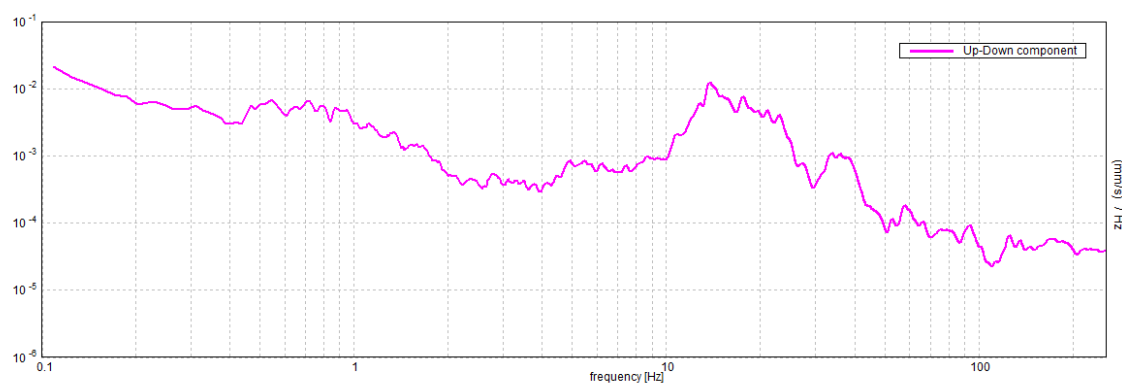
Punto di rilievo dinamico

4.3 Analisi dei risultati

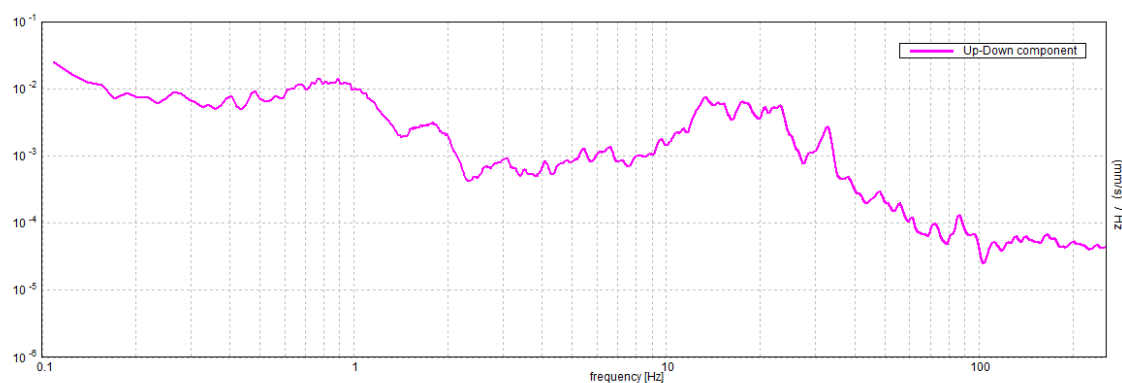
Di seguito si riporta l'elaborazione dei segnali acquisiti in direzione verticale per ogni campata.



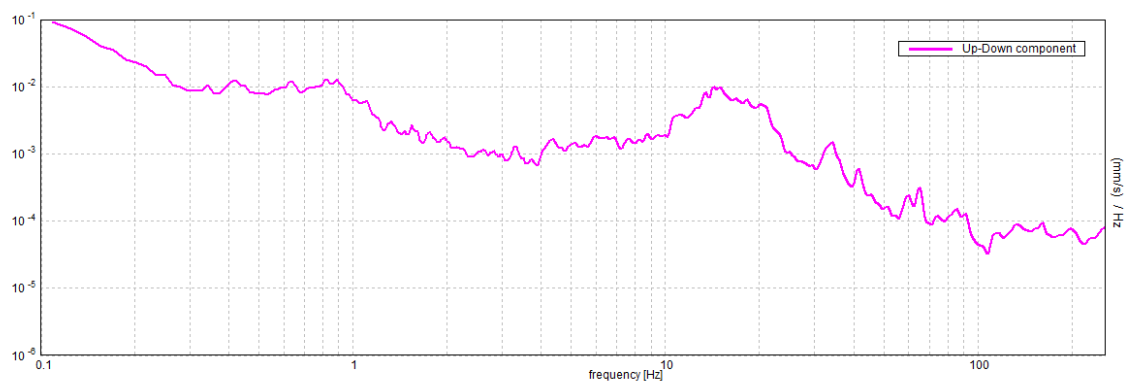
Fourier del canale verticale nella I campata da destra



Fourier del canale verticale nella II campata da destra



Fourier del canale verticale nella III campata da destra



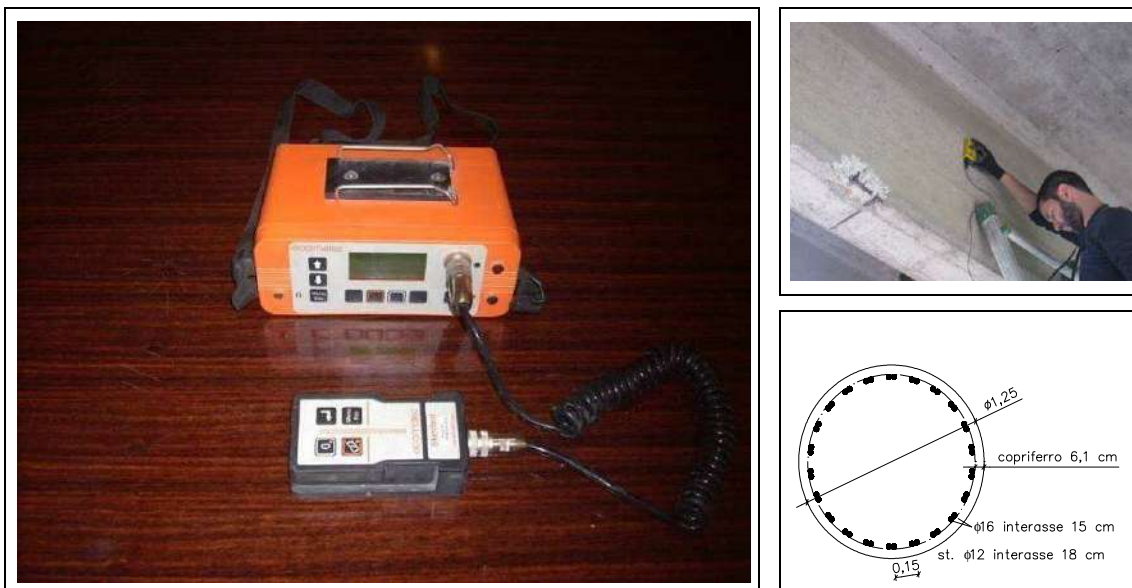
Fourier del canale verticale nella IV campata da destra

Dall'analisi sperimentale di tutti i segnali non si rilevano differenze sostanziali fra le frequenze verticali delle varie campate.

5 INDAGINI SPERIMENTALI

5.1 Rilievo pacometrico delle armature

Lo scopo della prova è quello di determinare la posizione delle armature, lo spessore del copriferro e, con buona approssimazione, il diametro dei ferri facendo scorrere lungo la superficie mediante 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.



PROCEDURA

- Posizionare la sonda con l'asse longitudinale nella direzione presunta delle barre.
- Muovere la sonda nella direzione presunta delle sbarre 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.

- Muovere nuovamente le manopole e passare nuovamente lo strumento nei punti contrassegnati dal gessetto al fine di rilevare in più punti il diametro dei ferri d'armatura.
- Trascrivere le misure rilevate in diversi punti e calcolare i valori medi del diametro delle armature rilevate, il loro passo e la profondità del copriferro.

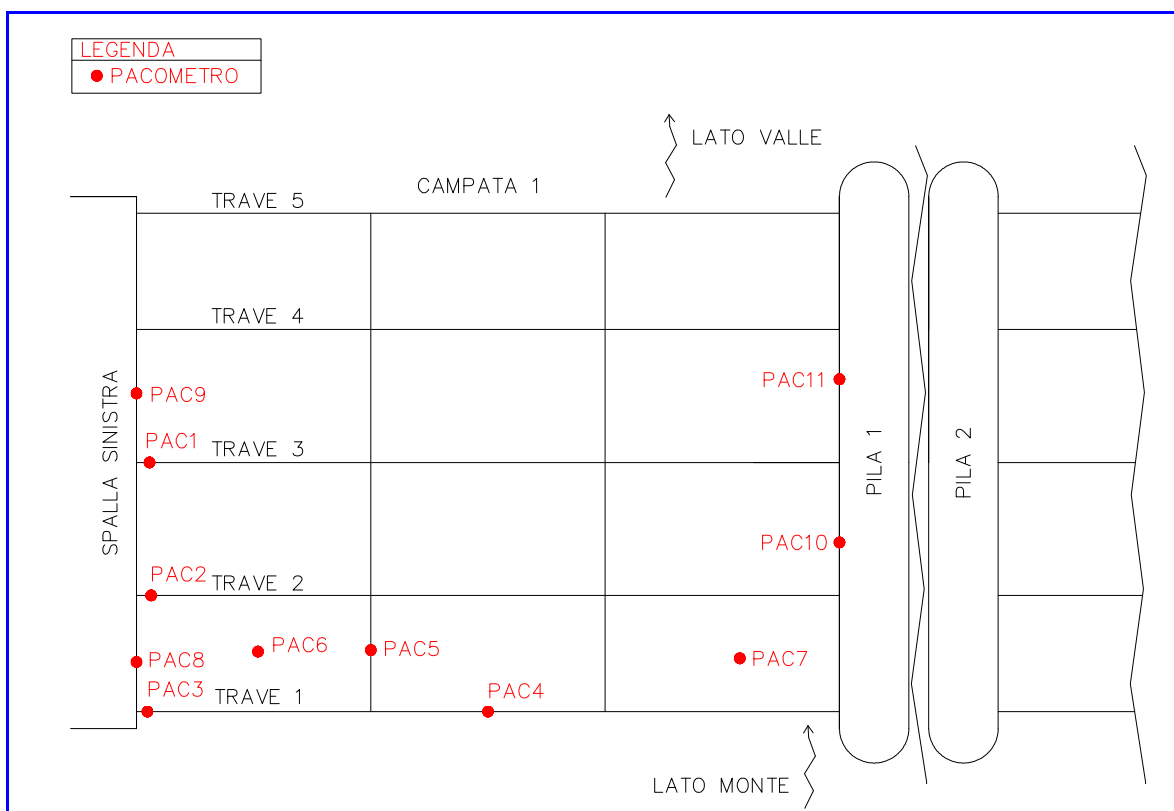
RIFERIMENTI

UNI 7997

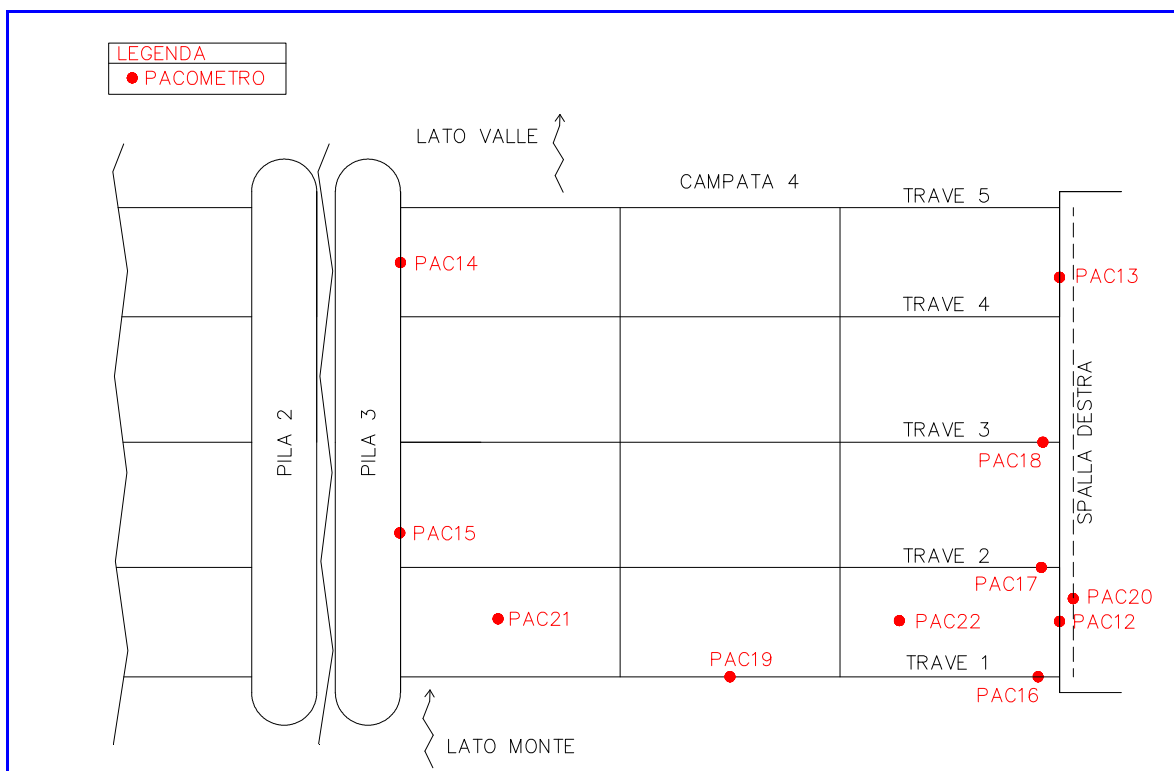
Bibliografia: (7), (41)

5.1.1 Ubicazione delle prove

Sono state eseguite 22 indagini pacometriche sparse sull'intera struttura. Di seguito si riportano i disegni con l'ubicazione delle indagini.



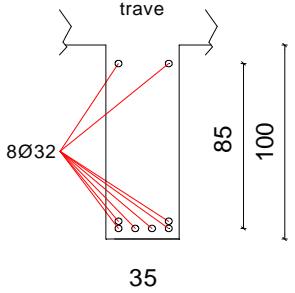
Ubicazione delle indagini pacometriche - I campata da sinistra

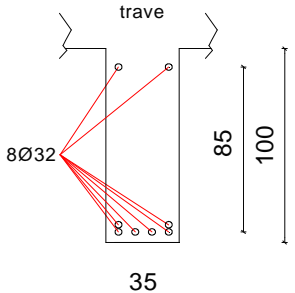


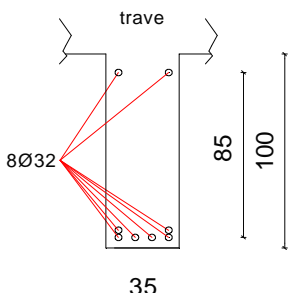
Ubicazione delle indagini pacometriche - IV campata da sinistra

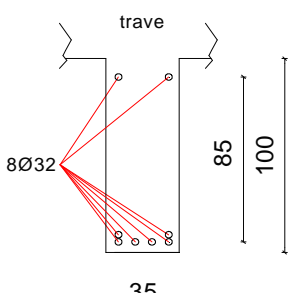
5.1.2 Risultati

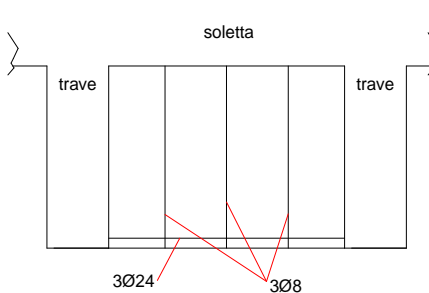
A seguire i risultati delle indagini pacometriche eseguite.

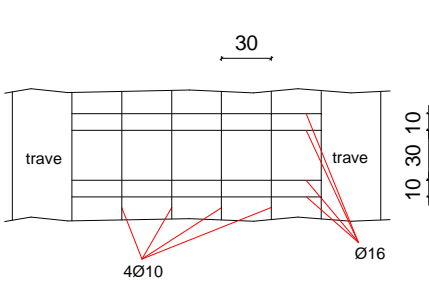
PAC 1		I campata da sinistra – appoggio III trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

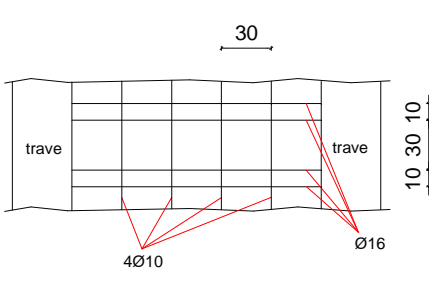
PAC 2		I campata da sinistra – appoggio II trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

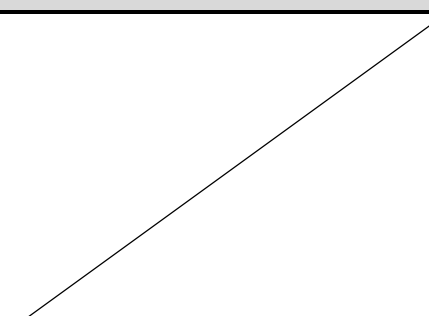
PAC 3		I campata da sinistra – appoggio I trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

PAC 4		I campata da sinistra – mezzeria I trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

PAC 5		I campata da sinistra – II traverso da destra		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	24	-	25	
Trasversale	8	30	15	

PAC 6		I campata da sinistra – intradosso soletta tra I e II trave verso spalla sinistra -		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	16	-	25	
Trasversale	10	30	15	

PAC 7		I campata da sinistra – intradosso soletta tra I e II trave verso I pila da sinistra		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	16	-	25	
Trasversale	10	30	15	

PAC 8		Spalla sinistra tra I e II trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	-	-	>80	

PAC 9		Spalla sinistra tra III e IV trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	–	–	>80	

PAC 10		I pila da sinistra tra II e III trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	–	–	>80	

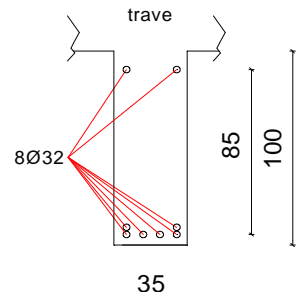
PAC 11		I pila da sinistra tra III e IV trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	–	–	>80	

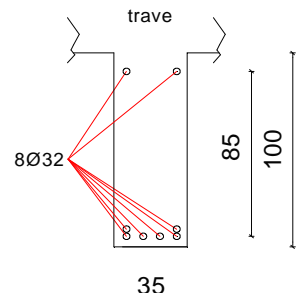
PAC 12		Spalla destra tra I e II trave da monte		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	–	–	>80	

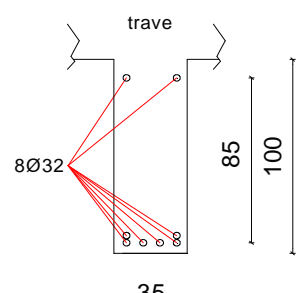
PAC 13 Spalla destra tra IV e V trave da monte				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	–	–	>80	

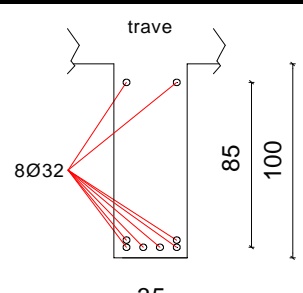
PAC 14 III pila da sinistra tra IV e V trave da monte				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	–	–	>80	


PAC 15 III pila da sinistra tra II e III trave da monte				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Non rilevata	–	–	>80	

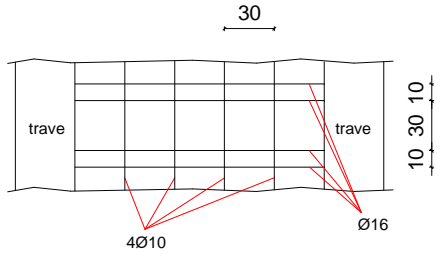
PAC 16 IV campata da sinistra – appoggio I trave da monte				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

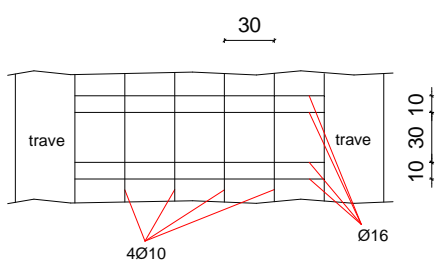
PAC 17 IV campata da sinistra – appoggio II trave da monte				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

PAC 18 IV campata da sinistra – appoggio III trave da monte				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

PAC 19 IV campata da sinistra – mezzeria I trave da monte				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	32	-	45	
Trasversale	10	35	35	

PAC 20 IV campata da sinistra – I traverso da sinistra su spalla destra				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	24	-	25	
Trasversale	8	30	15	

PAC 21 IV campata da sinistra – intradosso soletta tra I e II trave verso III pila da sinistra				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	16	-	25	
Trasversale	10	30	15	

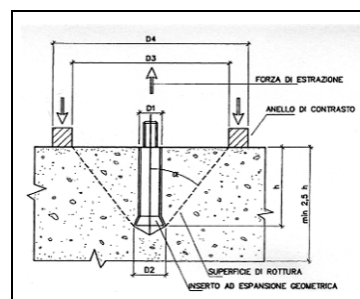
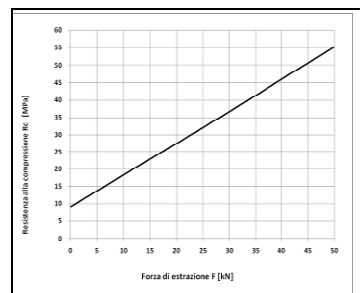
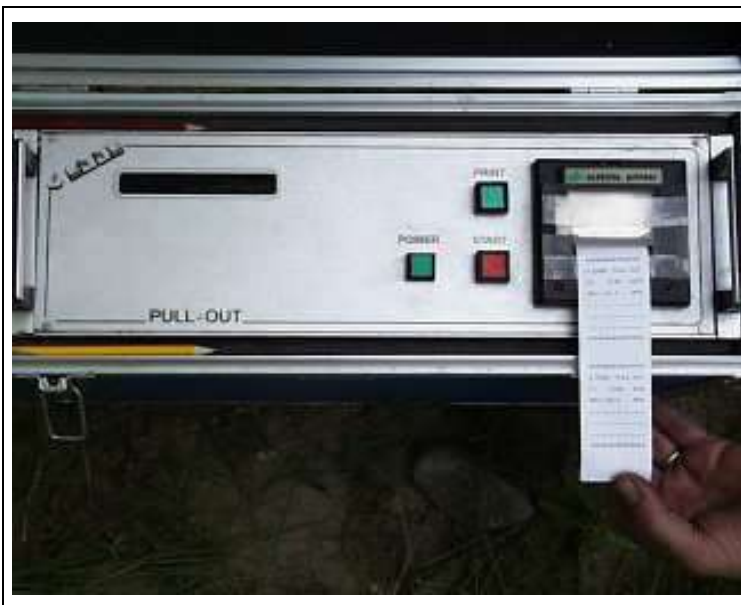
PAC 22 IV campata da sinistra – intradosso soletta tra I e II trave verso spalla destra				
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]	Copriferro [mm]	
Longitudinale	16	-	25	
Trasversale	10	30	15	

Nella tabella successiva la sintesi dei valori rilevati.

Elemento	Sezione	Copriferro minimo [mm]
Solette	PAC 6,7,21,22	15
Travi	PAC 1,2,3,4,16,17,18,19	35
Traversi	PAC 5,20	15

5.2 Prove di Pull-Out

Questa tecnica di indagine è utilizzata per determinare le proprietà meccaniche del cls in opera. Consiste nell'inserire nel cls 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 cls.



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

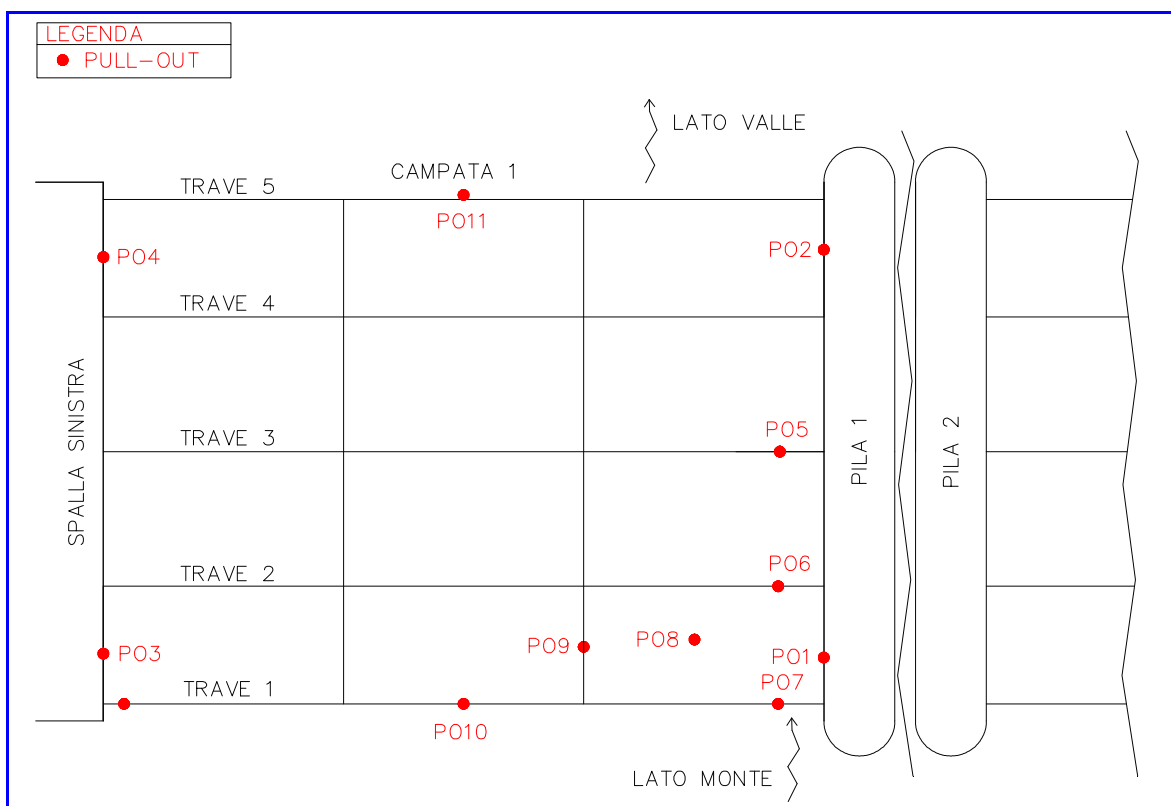
UNI EN 12504-3:2005

Linee Guida Calcestruzzo Strutturale
CSLP 2008

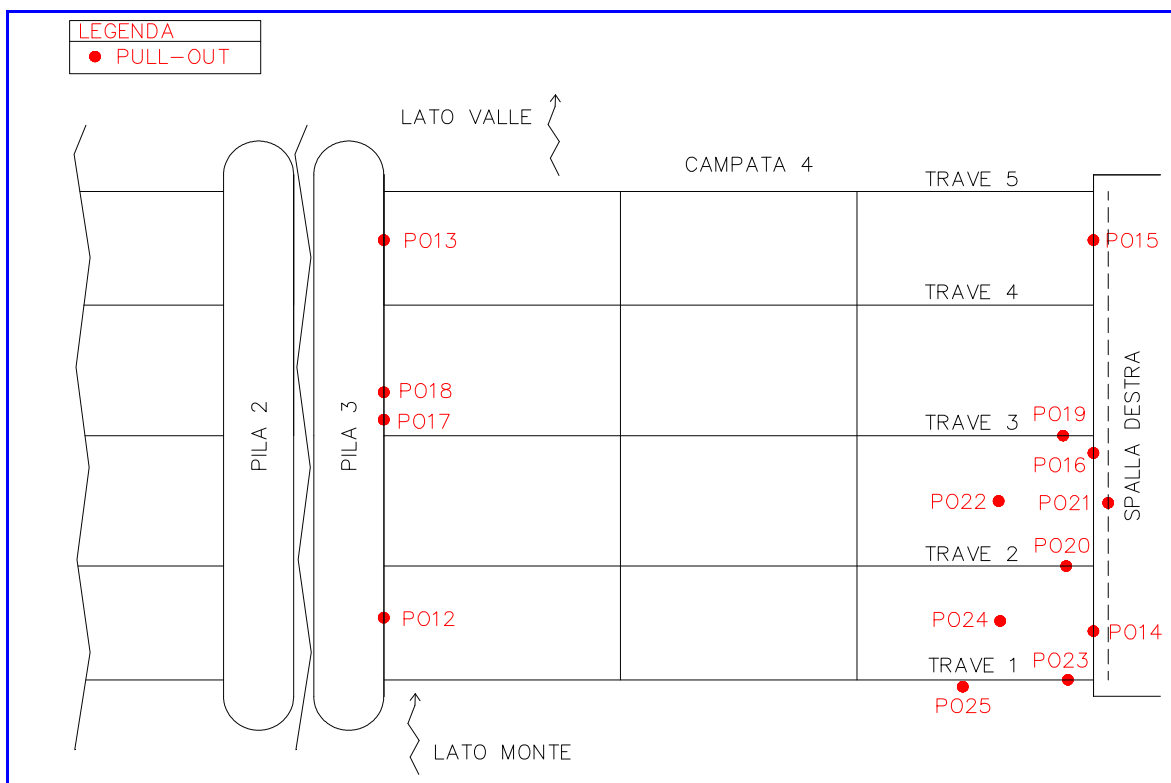
La calibrazione dell'apparecchiatura Pull-out è stata effettuata in data 3 febbraio 2015 e documentata con il rapporto di taratura n. 1157/15.

5.2.1 Ubicazione delle prove

Sono state eseguite 25 indagini pull-out e di seguito vengono riportati i disegni con la disposizione delle indagini.




Ubicazione delle prove di pull-out – I campata da sinistra




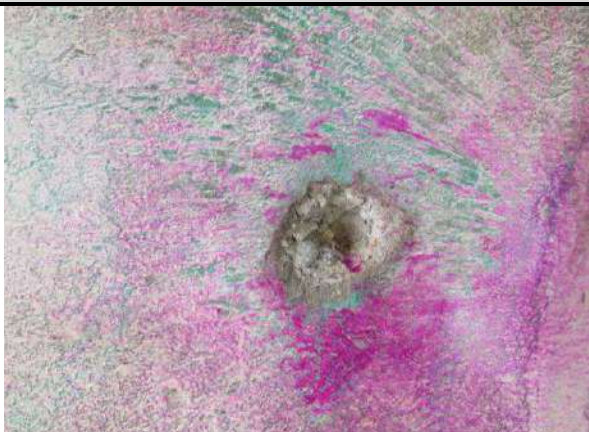
Ubicazione delle prove di pull-out – IV campata da sinistra


5.2.2 Risultati


Nelle tabelle a seguire si riportano i risultati delle prove di pull-out con i valori di carbonatazione misurati nelle zone di estrazione dei coni.


PO 1		I pila da sinistra (verso spigolo di monte)	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	37,64	43,8	
2	32,78	39,3	
3	31,16	37,8	
Rc media [Mpa]		40,3	
Carbonatazione [mm]		30	


PO 2		I pila da sinistra (verso spigolo di valle)	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	26,41	33,4	
2	26,52	33,5	
3	33,82	40,3	
Rc media [Mpa]		35,7	
Carbonatazione [mm]		10	

PO 3		Spalla sinistra lato monte – a 3 m dallo spigolo di monte, h = 1 m	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	18,18	25,8	
2	24,21	31,4	
3	22,93	30,2	
Rc media [Mpa]		29,1	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 4		Spalla sinistra lato valle – a 2 m dallo spigolo di valle, h = 1 m	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	16,33	24,1	
2	20,50	28,0	
3	20,50	28,0	
Rc media [Mpa]		26,7	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 5		I campata da sinistra – appoggio destro III trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	41,93	47,8	
2	32,43	39,0	
3	34,63	41,0	
Rc media [Mpa]		42,6	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 6		I campata da sinistra – appoggio destro II trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	39,26	45,3	
2	45,40	51,0	
3	43,78	49,5	
Rc media [Mpa]		48,6	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 7		I campata da sinistra – appoggio destro I trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	42,28	48,1	
2	32,89	39,4	
3	39,26	45,3	
Rc media [Mpa]		44,2	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 8		I campata da sinistra – intradosso soletta tra I e II trave da monte verso l'appoggio destro	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	36,60	42,9	
2	40,08	46,1	
3	46,45	52,0	
Rc media [Mpa]		47,0	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 9		I campata da sinistra – II traverso da destra tra I e II trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	40,08	46,1	
2	37,64	43,8	
3	36,48	42,7	
Rc media [Mpa]		44,2	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 10		I campata da sinistra – mezzeria I trave da monte
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]
1	36,02	42,3
2	40,65	46,6
3	35,33	41,7
Rc media [Mpa]		43,5
Carbonatazione [mm]		>40




PO 11		I campata da sinistra – soletta/cordolo facciata laterale di valle
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]
1	34,05	40,5
2	29,88	36,6
3	34,98	41,4
Rc media [Mpa]		39,5
Carbonatazione [mm]		20



PO 12		I pila da destra facciata destra – a 2,5 m dallo spigolo di monte, h = 1,5 m dalla base
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]
1	36,95	43,2
2	37,18	43,4
3	28,96	35,8
Rc media [Mpa]		40,8
Carbonatazione [mm]		20





PO 13		I pila da destra facciata destra – a 2,5 m dallo spigolo di valle, h = 1,5 m dalla base	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	38,45	44,6	
2	38,45	44,6	
3	46,21	51,7	
Rc media [Mpa]		46,9	
Carbonatazione [mm]		30	


PO 14		Spalla destra – a 2 m dallo spigolo di monte, h = 1 m dalla base	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	30,58	37,3	
2	27,33	34,3	
3	23,63	30,9	
Rc media [Mpa]		34,1	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 15		Spalla destra – a 2 m dallo spigolo di valle, h = 1 m dalla base	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	26,76	33,7	
2	34,28	40,7	
3	28,61	35,5	
Rc media [Mpa]		36,6	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 16		Spalla destra – al centro, h =1,1 m dalla base	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	19,34	26,9	
2	18,88	26,5	
3	18,18	25,8	
Rc media [Mpa]		26,4	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 17		I pila da destra – al centro, h = 1,5 m dalla base	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	11,12	19,3	
2	13,55	21,5	
3	7,88	16,3	
Rc media [Mpa]		19,0	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 18		I pila da destra – al centro, h = 1 m dalla base	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	23,86	31,1	
2	16,68	24,4	
3	16,56	24,3	
Rc media [Mpa]		26,6	
Carbonatazione [mm]		20	


PO 19		IV campata da sinistra – appoggio destro III trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	30,69	37,4	
2	38,69	44,8	
3	34,05	40,5	
Rc media [Mpa]		40,9	
Carbonatazione [mm]		>40	


PO 20		IV campata da sinistra – appoggio destro II trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	35,91	42,2	
2	37,30	43,5	
3	39,61	45,6	
Rc media [Mpa]		43,8	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 21		IV campata da sinistra – I traverso da destra su spalla destra, tra II e III trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	37,06	43,3	
2	31,27	37,9	
3	33,01	39,5	
Rc media [Mpa]		40,2	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 22		IV campata da sinistra – intradosso soletta tra II e III trave da monte verso l'appoggio destro	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	26,41	33,4	
2	24,90	32,0	
3	25,37	32,5	
Rc media [Mpa]		32,6	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 23		IV campata da sinistra – appoggio destro I trave da monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	20,04	27,5	
2	17,49	25,2	
3	20,62	28,1	
Rc media [Mpa]		26,9	
Carbonatazione [mm]		>40	

PO 24		IV campata da sinistra – intradosso soletta tra I e II trave da monte verso l'appoggio destro	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	32,55	39,1	
2	37,53	43,7	
3	29,77	36,5	
Rc media [Mpa]		39,8	
Carbonatazione [mm]		20	

PO 25		IV campata da sinistra – soletta facciata laterale di monte	
Nr.	F [kN]	Rc [MPa]	
1	35,33	41,7	
2	34,17	40,6	
3	42,97	48,7	
Rc media [Mpa]		43,6	
Carbonatazione [mm]		20	

Nella tabella successiva la sintesi dei valori rilevati.

Elemento	Sezione	Rc media [MPa]	Rc media per elemento [MPa]
Spalla destra	<i>PO 14</i>	34,1	32,4
	<i>PO 15</i>	36,6	
	<i>PO 16</i>	26,4	
Spalla sinistra	<i>PO 3</i>	29,1	27,9
	<i>PO 4</i>	26,7	
Pile	<i>PO 1</i>	40,3	34,9
	<i>PO 2</i>	35,7	
	<i>PO 12</i>	40,8	
	<i>PO 13</i>	46,9	
	<i>PO 17</i>	19,0	
	<i>PO 18</i>	26,6	
Soletta	<i>PO 8</i>	47,0	40,5
	<i>PO 11</i>	39,5	
	<i>PO 22</i>	32,6	
	<i>PO 24</i>	39,8	
	<i>PO 25</i>	43,6	
Travi	<i>PO 5</i>	42,6	41,5
	<i>PO 6</i>	48,6	
	<i>PO 7</i>	44,2	
	<i>PO 10</i>	43,5	
	<i>PO 19</i>	40,9	
	<i>PO 20</i>	43,8	
	<i>PO 23</i>	26,9	
Traversi	<i>PO 9</i>	44,2	42,2
	<i>PO 21</i>	40,2	

5.3 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

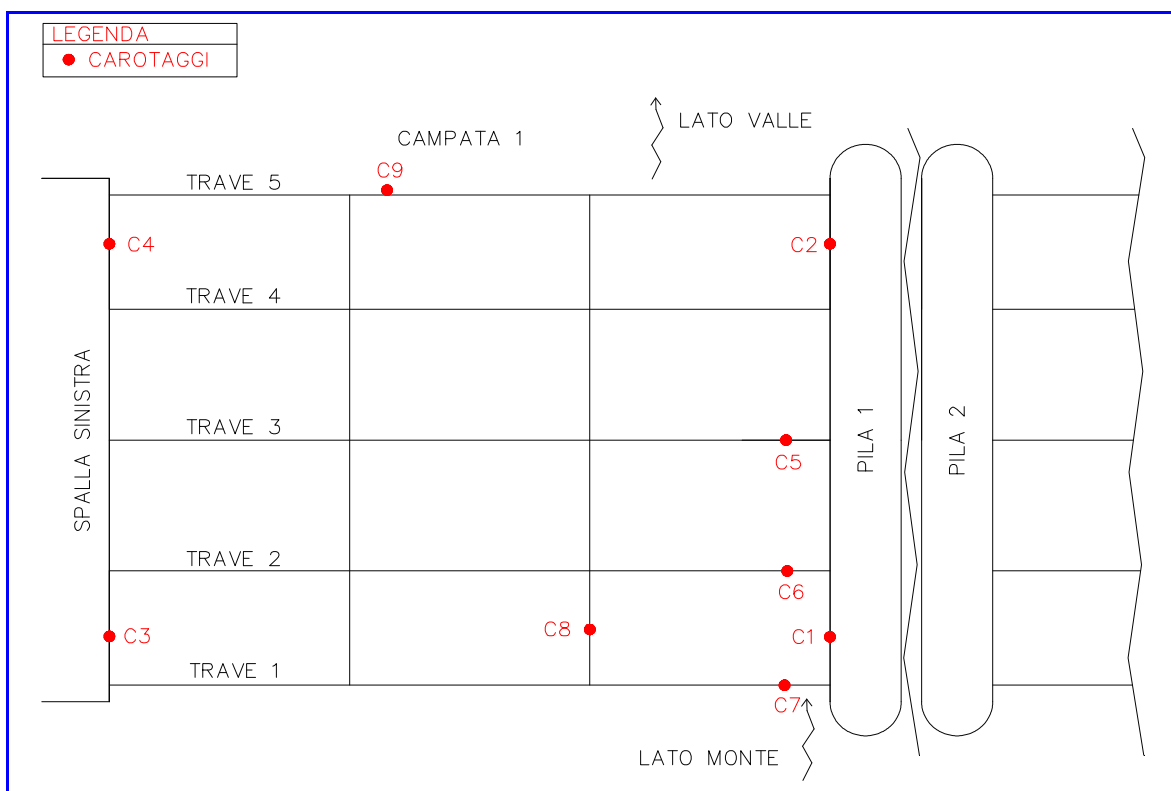
- Da tenere presente che la forma del cilindro è regolata da UNI 12390-1 e che le correlazioni con la resistenza del cls (R_{ck}) sono da riferirsi generalmente ad un R_{ck} cubico di lato 15 cm x 15 cm.
- Tale correlazione è paragonabile con un cilindro di diametro 15 cm ed altezza 30 cm.

RIFERIMENTI

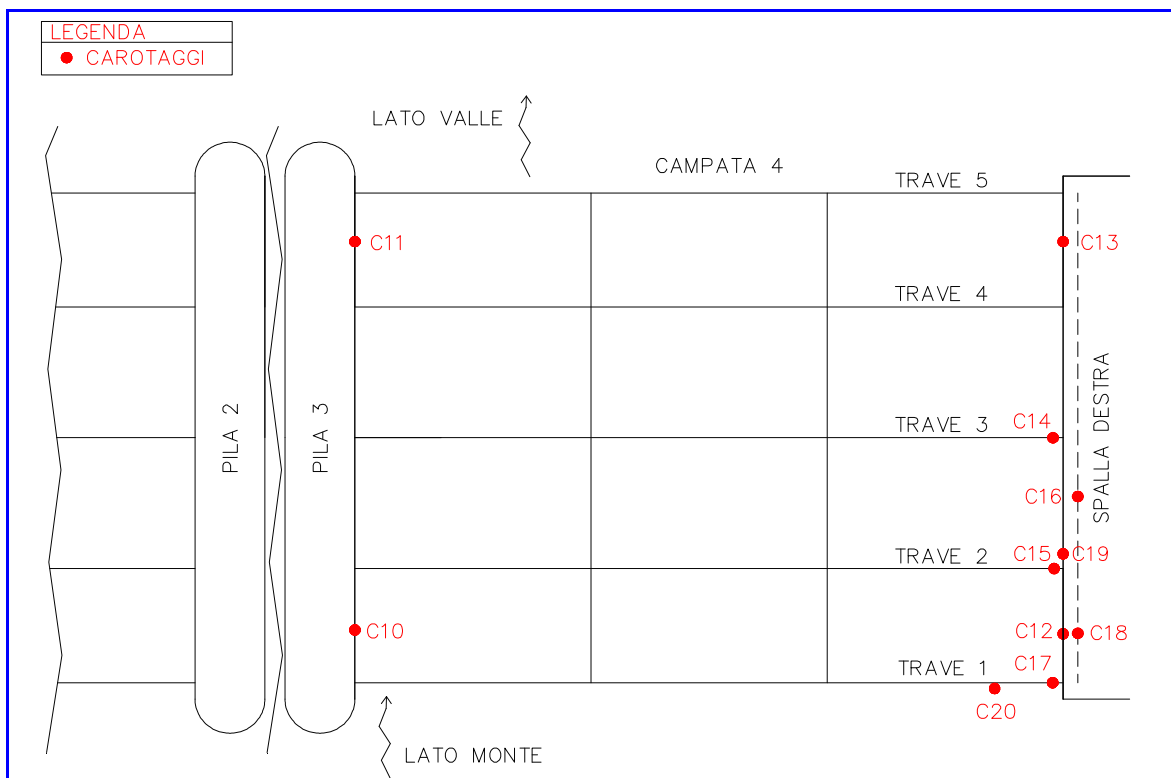
Norma UNI EN 12504-1

5.3.1 Ubicazione delle prove

Sono stati prelevati 20 campioni cilindrici e di seguito si riportano i disegni con l'ubicazione dei carotaggi.



Ubicazione dei carotaggi – I campata da sinistra



Ubicazione dei carotaggi – IV campata da sinistra

Nella tabella successiva viene riportata la posizione dettagliata dell'estrazione dei campioni cilindrici.

Denominazione	Elemento strutturale	Posizione
C 1	pila	I pila da sinistra a 2 m dallo spigolo di monte, h = 1,5 m dalla base
C 2	pila	I pila da sinistra a 2 m dallo spigolo di valle, h = 1,5 m dalla base
C 3	spalla	Spalla sinistra a 2 m dallo spigolo di monte
C 4	spalla	Spalla sinistra a 2 m dallo spigolo di valle
C 5	trave	I campata da sinistra, appoggio destro III trave da monte
C 6	trave	I campata da sinistra, appoggio destro II trave da monte
C 7	trave	I campata da sinistra, appoggio destro I trave da monte
C 8	traverso	I campata da sinistra, II traverso da destra tra I e II trave da monte
C 9	cordolo	I campata da sinistra, facciata di valle cordolo
C 10	pila	I pila da destra facciata destra, a 2,5 m dallo spigolo di monte
C 11	pila	I pila da destra facciata destra, a 2,5m dallo spigolo di valle
C 12	spalla	Spalla destra a 2 m dallo spigolo di monte, h = 1,2 m dalla base
C 13	spalla	Spalla destra a 2 m dallo spigolo di valle, h = 1,2 m dalla base
C 14	trave	IV campata da sinistra, appoggio destro III trave da monte
C 15	trave	IV campata da sinistra, appoggio destro II trave da monte
C 16	traverso	IV campata da sinistra, I traverso da destra su spalla destra tra II e III trave da monte
C 17	trave	IV campata da sinistra, appoggio destro I trave da monte
C 18	traverso	IV campata da sinistra, I traverso da destra su spalla destra tra I e II trave da monte
C 19	pulvino spalla	Pulvino spalla destra a 40 cm dall'appoggio destro della II trave da monte
C 20	soletta	IV campata da sinistra, soletta facciata di monte

5.3.2 Prove di laboratorio sulle carote di calcestruzzo

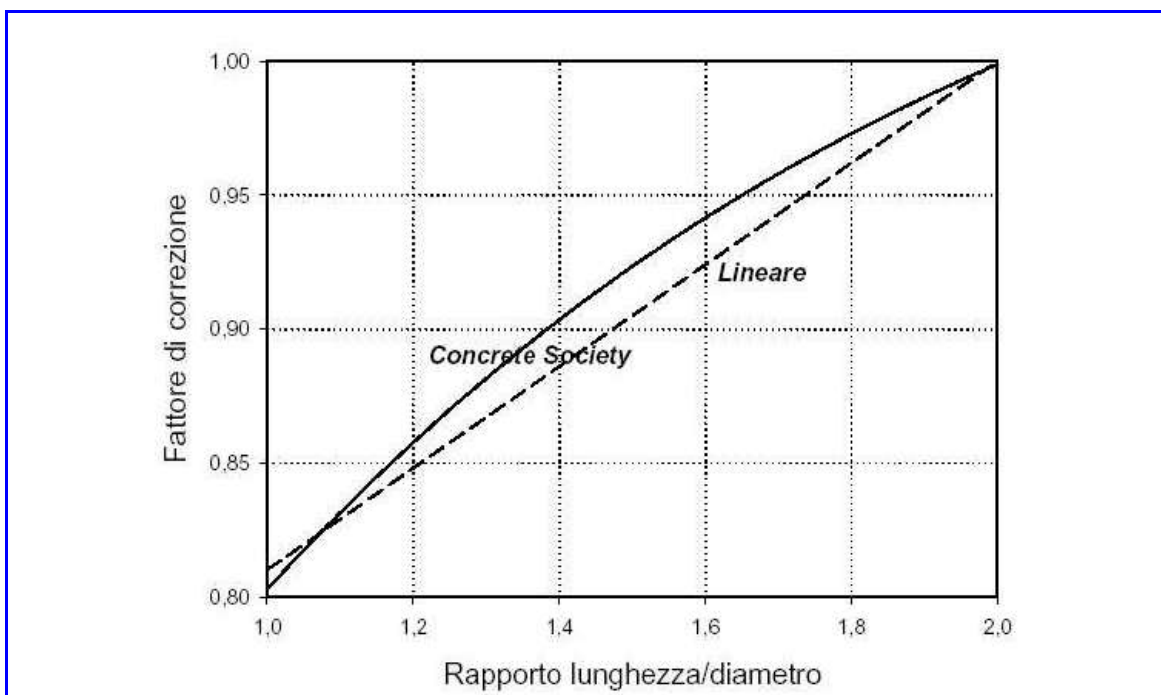
La carota è stata tagliata e rettificata presso il Laboratorio Prove Materiali 4 EMME Service S.p.A. con prova di schiacciamento condotta in base alla normativa UNI EN 12390-3; il Certificato è riportato negli allegati.



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

5.3.3 Risultati

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

Elemento	Sezione	Rc [MPa]	Rc media per elemento [MPa]
Spalle	C 3	12,4	15,2
	C 4	12,7	
	C 12	22,7	
	C 13	13,1	
Pulvini	C 19	10,3	10,3
Pile	C 1	24,2	29,0
	C 2	25,5	
	C 10	46,2	
	C 11	20,0	
Solette	C 9*	–	–
	C 20*	–	
Travi	C 5	26,4	20,7
	C 6	24,5	
	C 7	20,3	
	C 14	13,0	
	C 15	26,5	
	C 17	13,5	
Traversi	C 8	28,7	25,2
	C 16	25,3	
	C 18	21,7	

* le carote hanno subito una rottura parziale durante la fase di estrazione

5.4 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

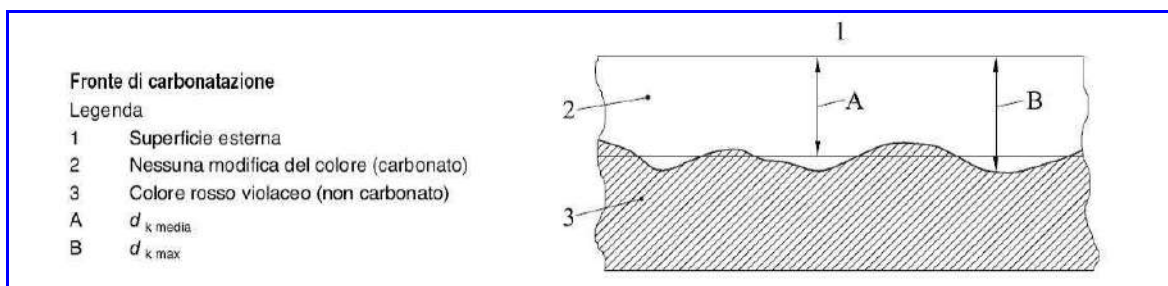
- Utilizzare una carota eseguendo la prova immediatamente dopo l'estrazione ad evitare che si formi un film carbonatato superficiale.
- Pulire accuratamente con uno straccio asciutto la superficie cilindrica.
- Spalmare o nebulizzare la fenoftalina sulla superficie, con soluzione all'1% di alcool etilico, 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 carbonatazione secondo UNI EN 14630

5.4.1 Risultati



Nelle pagine successive vengono riportati i valori di carbonatazione delle carote estratte.






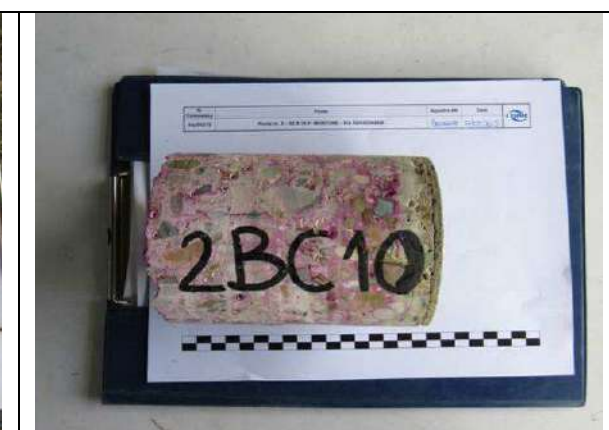
Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$		$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$
C 1	60	30	C 2	25	15



Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$		$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$
C 3	120	105	C 4	100	95

					
Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_k \text{ max}$	$d_k \text{ media}$		$d_k \text{ max}$	$d_k \text{ media}$
C 5	45	40	C 6	40	25

					
Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_k \text{ max}$	$d_k \text{ media}$		$d_k \text{ max}$	$d_k \text{ media}$
C 7	50	35	C 8	50	40

					
Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_k \text{ max}$	$d_k \text{ media}$		$d_k \text{ max}$	$d_k \text{ media}$
C 9	0	0	C 10	30	15



Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_{k \max}$	$d_{k \text{ media}}$		$d_{k \max}$	$d_{k \text{ media}}$
C 11	110	60	C 12	70	65



Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_{k \max}$	$d_{k \text{ media}}$		$d_{k \max}$	$d_{k \text{ media}}$
C 13	70	25	C 14	60	55



Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_{k \max}$	$d_{k \text{ media}}$		$d_{k \max}$	$d_{k \text{ media}}$
C 15	50	40	C 16	65	55



Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$		$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$
C 17	60	50	C 18	60	50



la carota ha subito una rottura parziale durante la fase di estrazione

Den.	Carbonatazione [mm]		Den.	Carbonatazione [mm]	
	$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$		$d_{k \text{ max}}$	$d_{k \text{ media}}$
C 19	120	80	C 20	-	-

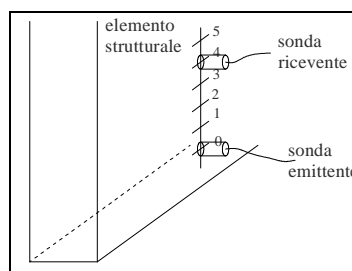
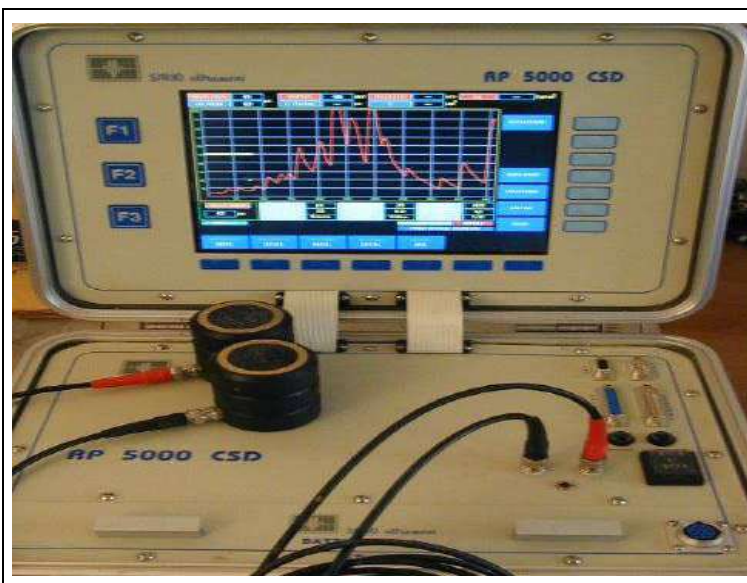
Nella tabella successiva la sintesi dei valori rilevati.

Elemento	Sezione	$d_{k \max}$ [mm]	$d_{k \text{ media}}$ [mm]
Spalle	C 3	120	105
	C 4	100	95
	C 12	70	65
	C 13	70	25
Pulvini	C 19	120	80
Pile	C 1	60	30
	C 2	25	15
	C 10	30	15
	C 11	110	60
Solette	C 9*	0	0
	C 20*	-	-
Travi	C 5	45	40
	C 6	40	25
	C 7	50	35
	C 14	60	55
	C 15	50	40
	C 17	60	50
Traversi	C 8	50	40
	C 16	60	55
	C 18	60	50

* le carote hanno subito una rottura parziale durante la fase di estrazione

5.5 Controlli ultrasonici sul calcestruzzo

Attraverso gli ultrasuoni si vogliono rilevare le caratteristiche meccaniche del cls, in particolar modo la sua omogeneità. Per l'esecuzione della prova la sonda emettitrice e la sonda ricevente sono poste a cavallo dell'elemento da indagare (o sulla stessa faccia nel caso la superficie opposta non sia accessibile). La sonda emettitrice produce degli impulsi che sono captati dalla sonda ricevente e registrati dall'apparecchiatura. Il tempo di transito, essendo proporzionale alla resistenza meccanica del calcestruzzo, fornisce un'indicazione relativa alla variazione di resistenza in punti diversi.



PROCEDURA

- Individuare le armature superficiali delle zone da indagare tramite Pacometro.
- Contrassegnare con precisione i punti opposti alla superficie da indagare o, nel caso di unica superficie, lungo una direttrice a distanze di 0,2 m tra 5 punti.
- Pulire e levigare i punti dove si pongono le sonde.
- Ubicare con precisione sulla faccia dell'elemento strutturale la sonda trasmittente e ricevente interponendo l'apposito grasso di aderenza.
- Emettere l'impulso ultrasonico e rilevare il tempo di transito.
- La misurazione si ottiene rilevando il valore medio di tre passaggi consecutivi con valori all'interno di una variabilità del $\pm 5\%$.
- La stima della resistenza del calcestruzzo si ottiene attraverso la correlazione indicata dalle norme UNI.

$$E = V^2 \cdot \rho \cdot [(1 + \gamma_d) (1 - 2\gamma_d)] / (1 - \gamma_d)$$

$$R_c = 10(E/22.000)^{1/0,3} \quad [\text{MPa}]$$

dove:

E = modulo di elasticità in Pascal

V = velocità di propagazione in m/s

ρ = massa volumica in dN/m^3

γ_d = modulo di Poisson dinamico (0,15-0,25)

NOTE

Vanno eseguite almeno tre prove per ogni elemento strutturale.

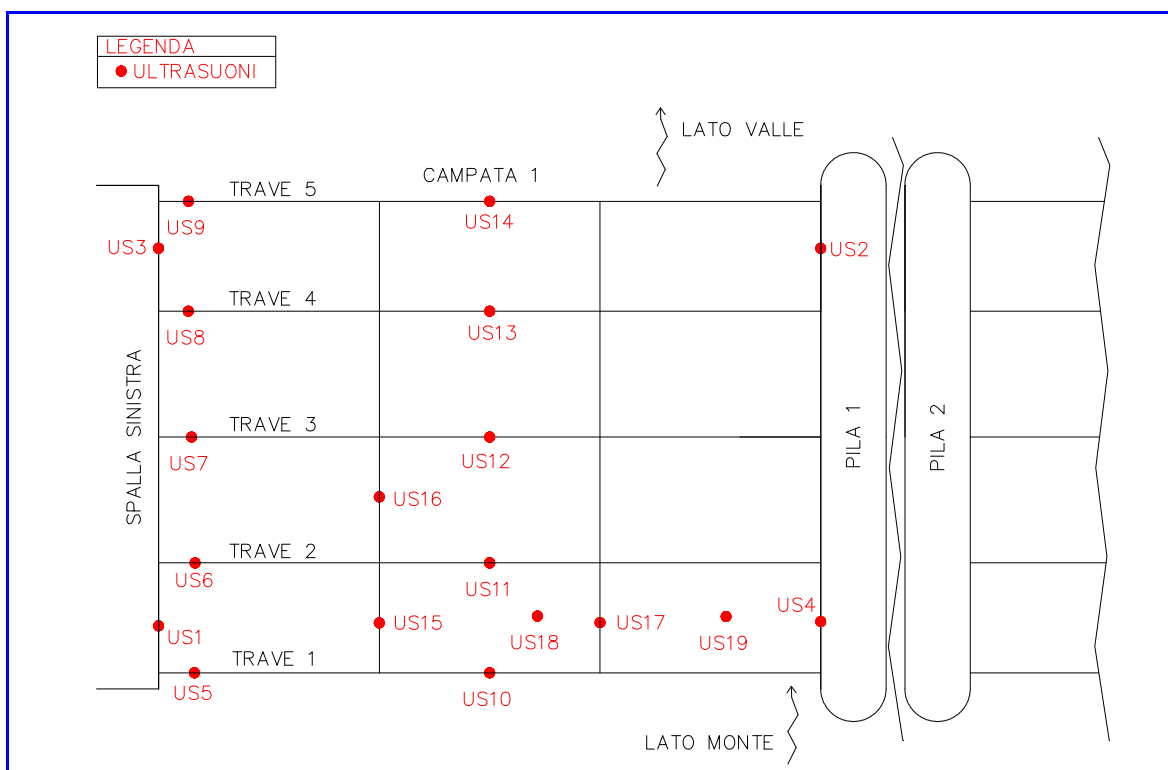
RIFERIMENTI

UNI EN 12504-4:2005;

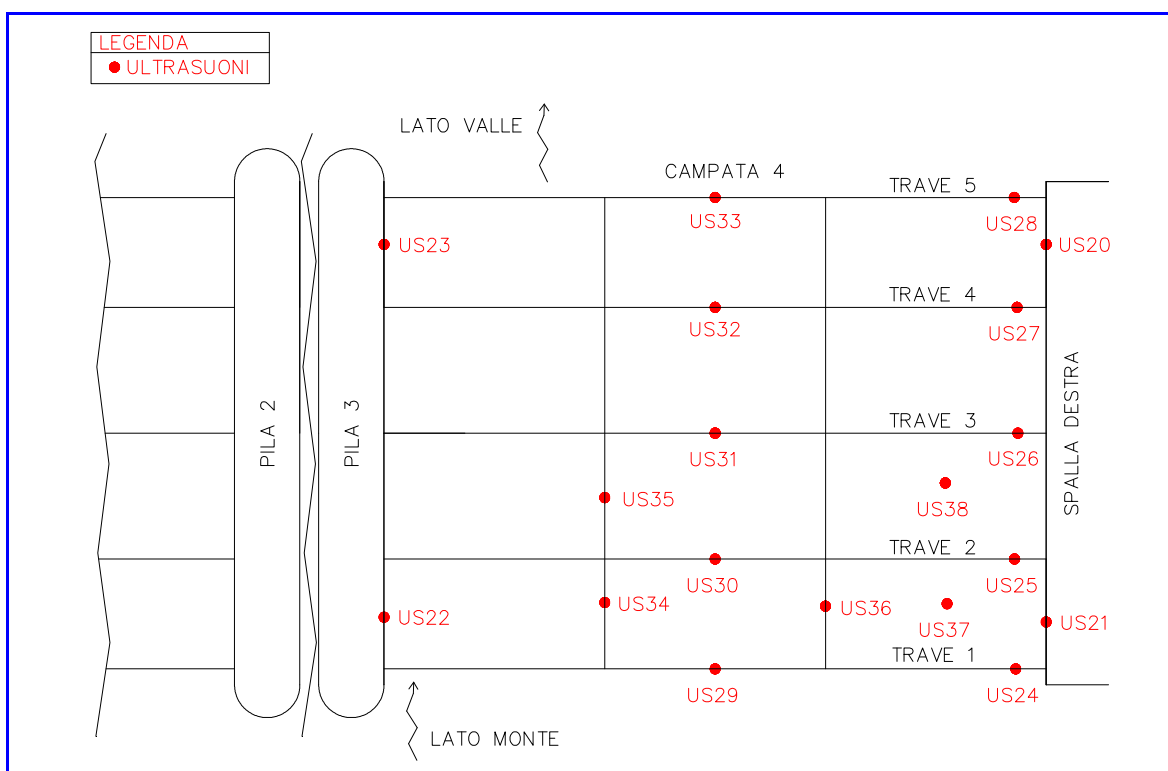
TU 2008

5.5.1 Ubicazione delle prove

Sono state eseguite 38 sezioni di misura con ultrasuoni, e di seguito vengono riportati i disegni con l'ubicazione delle indagini.



Ubicazione delle prove ultrasoniche - I campata di sinistra



Ubicazione delle prove ultrasoniche - IV campata di sinistra

5.5.2 Risultati

Nelle tabelle a seguire si riportano per ognuna delle sezioni indagate, i valori di velocità di propagazione delle onde rilevati.

US 1 – Spalla sinistra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	58,8	20	3401
	1-3	117,8	40	3395
	1-4	165,3	60	3630
	1-5	220,8	80	3623
Velocità media [m/s]				3512

US 2 – I pila da sinistra – facciata sinistra tra IV e V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	64,1	20	3120
	1-3	138,6	40	2886
	1-4	332,6	60	1804
	1-5	490,3	80	1632
Velocità media [m/s]				2360

US 3 – Spalla sinistra tra IV e V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	79,8	20	2506
	1-3	160,2	40	2496
	1-4	333,4	60	1800
	1-5	462,1	80	1731
Velocità media [m/s]				2231

US 4 – I pila da sinistra – facciata sinistra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	113,7	20	1759
	1-3	259,4	40	1542
	1-4	321,9	60	1864
	1-5	466,4	80	1715
Velocità media [m/s]				1720

US 5 – I campata da sinistra – appoggio sinistro I trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	86,1	35	4065
	2-2	85,5	35	4094
	3-3	86,0	35	4070
	4-4	86,2	35	4060
Velocità media [m/s]				4072

US 6 – I campata da sinistra – appoggio sinistro II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	87,2	35	4014
	2-2	85,7	35	4084
	3-3	85,5	35	4094
	4-4	86,1	35	4065
Velocità media [m/s]				4064

US 7 – I campata da sinistra – appoggio sinistro III trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	84,8	35	4127
	2-2	84,9	35	4122
	3-3	84,8	35	4127
	4-4	85,4	35	4098
Velocità media [m/s]				4119

US 8 – I campata da sinistra – appoggio sinistro IV trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	82,5	35	4242
	2-2	83,1	35	4211
	3-3	82,9	35	4221
	4-4	85,1	35	4112
Velocità media [m/s]				4197

US 9 – I campata da sinistra – appoggio sinistro V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	84,3	35	4151
	2-2	82,8	35	4227
	3-3	84,9	35	4112
	4-4	83,5	35	4191
Velocità media [m/s]				4170

US 10 – I campata da sinistra – mezzeria I trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	85,3	35	4103
	2-2	85,4	35	4098
	3-3	85,2	35	4108
	4-4	85,4	35	4098
Velocità media [m/s]				4102

US 11 – I campata da sinistra – mezzeria II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	83,5	35	4191
	2-2	84,7	35	4132
	3-3	84,3	35	4151
	4-4	83,9	35	4172
Velocità media [m/s]				4162

US 12 – I campata da sinistra – mezzeria III trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	86,2	35	4060
	2-2	84,7	35	4132
	3-3	85,6	35	4088
	4-4	85,8	35	4079
Velocità media [m/s]				4090

US 13 – I campata da sinistra – mezzeria IV trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	85,3	35	4103
	2-2	84,2	35	4156
	3-3	84,1	35	4161
	4-4	85,4	35	4098
Velocità media [m/s]				4130

US 14 – I campata da sinistra – mezzeria V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	81,3	35	4305
	2-2	82,2	35	4258
	3-3	83,8	35	4177
	4-4	81,7	35	4283
Velocità media [m/s]				4256

US 15 – I campata da sinistra – II traverso da sinistra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	64,4	25	3882
	2-2	64,7	25	3864
	3-3	64,6	25	3870
	4-4	64,4	25	3882
Velocità media [m/s]				3874

US 16 – I campata da sinistra – Il traverso da sinistra tra II e III trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	64,8	25	3858
	2-2	65,0	25	3846
	3-3	64,6	25	3870
	4-4	64,7	25	3864
Velocità media [m/s]				3860

US 17 – I campata da sinistra – Il traverso da destra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	64,8	25	3858
	2-2	64,7	25	3864
	3-3	64,4	25	3882
	4-4	65,0	25	3846
Velocità media [m/s]				3863

US 18 – I campata da sinistra – intradosso soletta al centro tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	80,5	20	2484
	1-3	155,8	40	2567
	1-4	210,6	60	2849
	1-5	276,9	80	2889
Velocità media [m/s]				2697

US 19 – I campata da sinistra – intradosso soletta verso appoggio destro tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	80,4	20	2488
	1-3	154,0	40	2597
	1-4	208,6	60	2876
	1-5	267,4	80	2992
Velocità media [m/s]				2738

US 20 - Spalla destra tra IV e V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	46,6	20	4292
	1-3	106,5	40	3756
	1-4	236,9	60	2533
	1-5	288,1	80	2777
Velocità media [m/s]				3339

US 21 - Spalla destra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	46,2	20	4329
	1-3	104,1	40	3842
	1-4	208,6	60	2876
	1-5	332,2	80	2408
Velocità media [m/s]				3364

US 22 – I pila da destra – facciata destra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	90,1	20	2220
	1-3	189,9	40	2106
	1-4	249,1	60	2409
	1-5	359,4	80	2226
Velocità media [m/s]				2240

US 23 – I pila da destra facciata destra tra IV e V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	80,9	20	2472
	1-3	126,4	40	3165
	1-4	278,3	60	2156
	1-5	426,9	80	1874
Velocità media [m/s]				2417

US 24 – IV campata da sinistra – appoggio destro I trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	90,9	35	3850
	2-2	87,7	35	3991
	3-3	88,2	35	3968
	4-4	84,5	35	4142
Velocità media [m/s]				3988

US 25 – IV campata da sinistra – appoggio destro II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	85,4	35	4098
	2-2	86,2	35	4060
	3-3	88,5	35	3955
	4-4	89,2	35	3924
Velocità media [m/s]				4010

US 26 – IV campata da sinistra – appoggio destro III trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	87,2	35	4014
	2-2	88,1	35	3973
	3-3	86,9	35	4028
	4-4	85,9	35	4075
Velocità media [m/s]				4023

US 27 – IV campata da sinistra – appoggio destro IV trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	87,8	35	3986
	2-2	86,5	35	4046
	3-3	85,8	35	4079
	4-4	86,2	35	4060
Velocità media [m/s]				4043

US 28 – IV campata da sinistra – appoggio destro V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	84,1	35	4162
	2-2	87,1	35	4018
	3-3	86,3	35	4056
	4-4	85,8	35	4079
Velocità media [m/s]				4079

US 29 – IV campata da sinistra – mezzeria I trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	84,5	35	4142
	2-2	85,2	35	4108
	3-3	87,4	35	4005
	4-4	89,2	35	3924
Velocità media [m/s]				4045

US 30 – IV campata da sinistra – mezzeria II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	88,4	35	3959
	2-2	89,2	35	3924
	3-3	89,7	35	3901
	4-4	90,1	35	3885
Velocità media [m/s]				3917

US 31 – IV campata da sinistra – mezzeria III trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	86,5	35	4046
	2-2	88,4	35	3959
	3-3	87,1	35	4018
	4-4	89,4	35	3915
Velocità media [m/s]				3985

US 32 – IV campata da sinistra – mezzeria IV trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	87,9	35	3982
	2-2	87,7	35	3991
	3-3	86,2	35	4060
	4-4	85,4	35	4098
Velocità media [m/s]				4033

US 33 – IV campata da sinistra – mezzeria V trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	89,2	35	3924
	2-2	88,7	35	3946
	3-3	86,8	35	4032
	4-4	90,4	35	3872
Velocità media [m/s]				3944

US 34 – IV campata da sinistra – Il traverso da sinistra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	62,5	25	4000
	2-2	62,4	25	4006
	3-3	68,1	25	3671
	4-4	68,0	25	3676
Velocità media [m/s]				3838

US 35 – IV campata da sinistra – Il traverso da sinistra tra II e III trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	73,0	25	3425
	2-2	65,2	25	3834
	3-3	61,3	25	4078
	4-4	61,6	25	4058
Velocità media [m/s]				3849

US 36 – IV campata da sinistra – II traverso da destra tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
DIRETTA	1-1	63,3	25	3949
	2-2	62,6	25	3994
	3-3	62,7	25	3987
	4-4	62,5	25	4000
Velocità media [m/s]				3983

US 37 – IV campata da sinistra – intradosso soletta verso appoggio destro tra I e II trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	75,3	20	2656
	1-3	152,7	40	2620
	1-4	181,4	60	3308
	1-5	329,4	80	2429
Velocità media [m/s]				2753

US 38 – IV campata da sinistra – intradosso soletta verso appoggio destro tra II e III trave da monte				
Tipologia	Nr.	Tempo Transito [μs]	Distanza [cm]	Velocità [m/s]
INDIRETTA	1-2	77,2	20	2591
	1-3	160,5	40	2492
	1-4	188,3	60	3186
	1-5	332,5	80	2406
Velocità media [m/s]				2669

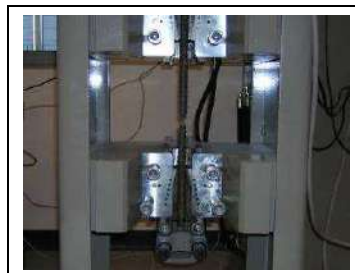
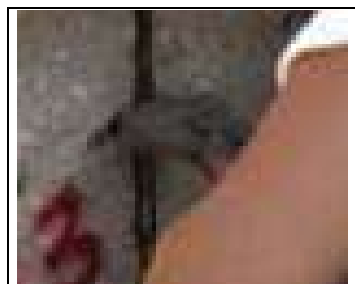
Nella tabella successiva la sintesi dei valori rilevati.

Elemento	Sezione	Tipologia	Velocità media [m/s]
Spalle	US 1	INDIRETTA	3512
	US 3		2231
	US 20		3339
	US 21		3364
Pile	US 2	INDIRETTA	2360
	US 4		1720
	US 22		2240
	US 23		2417
Solette	US 18	INDIRETTA	2697
	US 19		2738
	US 37		2753
	US 38		2669
Travi	US 5	DIRETTA	4072
	US 6		4064
	US 7		4119
	US 8		4197
	US 9		4170
	US 10		4102
	US 11		4162
	US 12		4090
	US 13		4130
	US 14		4256
	US 24		3988
	US 25		4010
	US 26		4023
	US 27		4043
	US 28		4079
	US 29		4045
	US 30		3917
	US 31		3985
	US 32		4033

Travi	<i>US 33</i>	DIRETTA	3944
Traversi	<i>US 15</i>	DIRETTA	3874
	<i>US 16</i>		3860
	<i>US 17</i>		3863
	<i>US 34</i>		3838
	<i>US 35</i>		3849
	<i>US 36</i>		3983

5.6 Scapitozzatura e prelievo armatura

Lo scopo della prova è quello di prelevare dei ferri d'armatura sui quali andranno poi eseguiti dei test chimici, fisici o meccanici in un laboratorio prove materiali. Questa metodologia prevede l'uso di uno scalpello per togliere il copriferro e di una cesoia per tagliare il ferro. Esso deve essere eseguito in zone di scarsa sollecitazione indicate dal Committente e deve essere condotto in modo da creare il minor disturbo possibile al manufatto ed ai suoi elementi costitutivi.



PROCEDURA

- Individuare insieme al DL la posizione che arrechi minor disturbo al manufatto.
- Individuare la presenza di ferri di armatura con pacometro e segnare la loro presenza con un gesso colorato.
- Scapitozzare il c.a. sino a liberare il ferro d'armatura per una lunghezza di circa 15 cm o maggiore se richiesti dal Laboratorio.
- Tagliare mediante molatrice o cesoia pneumatica il ferro da prelevare.
- Continuare a raffreddare i ferri d'armatura con getti d'acqua per impedire mutazioni delle caratteristiche chimiche e meccaniche del ferro.
- Dopo il prelievo fotografare il provino su un piano di colore neutro insieme con un foglio di carta ove sia indicata la posizione e un metro semirigido.

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

NOTE

- All'atto della consegna al Laboratorio va allegata anche la planimetria della struttura con l'indicazione dei punti di rilevamento.

RIFERIMENTI

D.M. del 14 gennaio 2008 (Cap. 11.3)

5.6.1 Scapitozzatura

Si è eseguita la scapitozzatura della soletta e della I trave da monte sulla I campata da destra e sulla I campata da sinistra.



Ferri in vista sulla trave

5.6.2 Prelievo di armatura

Sono stati prelevati quattro porzioni di armatura e nella tabella seguente ne viene riportata l'ubicazione.

Denominazione	Campata	Elemento
F1	I da destra	mezzeria I trave da monte
F2	I da destra	soletta
F3	I da sinistra	mezzeria I trave da monte
F4	I da sinistra	soletta

5.6.3 Prova meccanica di trazione

La prova di trazione determina le caratteristiche di resistenza, di elasticità e di deformabilità dell'acciaio.



Macchina per la prova di trazione



Campioni dopo la rottura

La tabella successiva riporta la sintesi dei risultati ottenuti dalle prove a trazione.
I certificati di laboratorio sono inseriti negli allegati.

Denominazione	Carico di snervamento [N/mm ²]	Carico di rottura [N/mm ²]	Allungamento [%]
F 1	307,6	368,5	11,0
F 2	362,4	510,7	13,2
F 3	352,6	368,2	n.r.
F 4	268,7	326,3	n.r.

6 CARATTERIZZAZIONE DINAMICA

Lo scopo dell'indagine dinamica è quello di individuare sperimentalmente le frequenze libere di vibrazione.

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.

6.1 Strumentazione impiegata

La misura delle frequenze proprie della struttura è stata eseguita utilizzando 6 tromografi digitali Microsismic 6S costituiti da 3 terne accelerometriche e 3 terne geofoniche.

Fondo scala accelerometri: ± 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®.

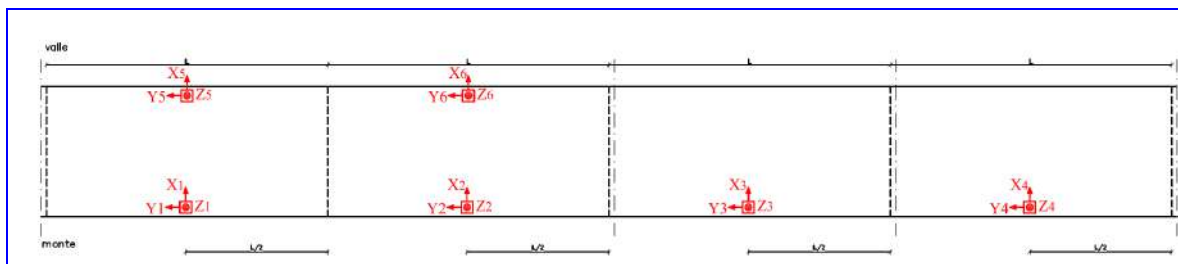


Microsismic

Le apparecchiature sono collegate tra loro via radio per consentire la sincronizzazione del segnale.

6.2 Posizione degli strumenti

I Microsismic sono stati posizionati come riportato nello schema seguente.



Schema di posizionamento sensori su una campata tipo

6.3 Acquisizione dei dati

Il campionamento dei dati è stato di 512 Hz.

Di seguito si riporta la tabella con i file acquisiti.

File	Campata (da Dx)	Camp. [Hz]	Durata acquisizione
F1 – F4	I-II-III-IV	512	2 min



Microismic 1 su terreno



Sensori in acquisizione

6.4 Modalità di elaborazione

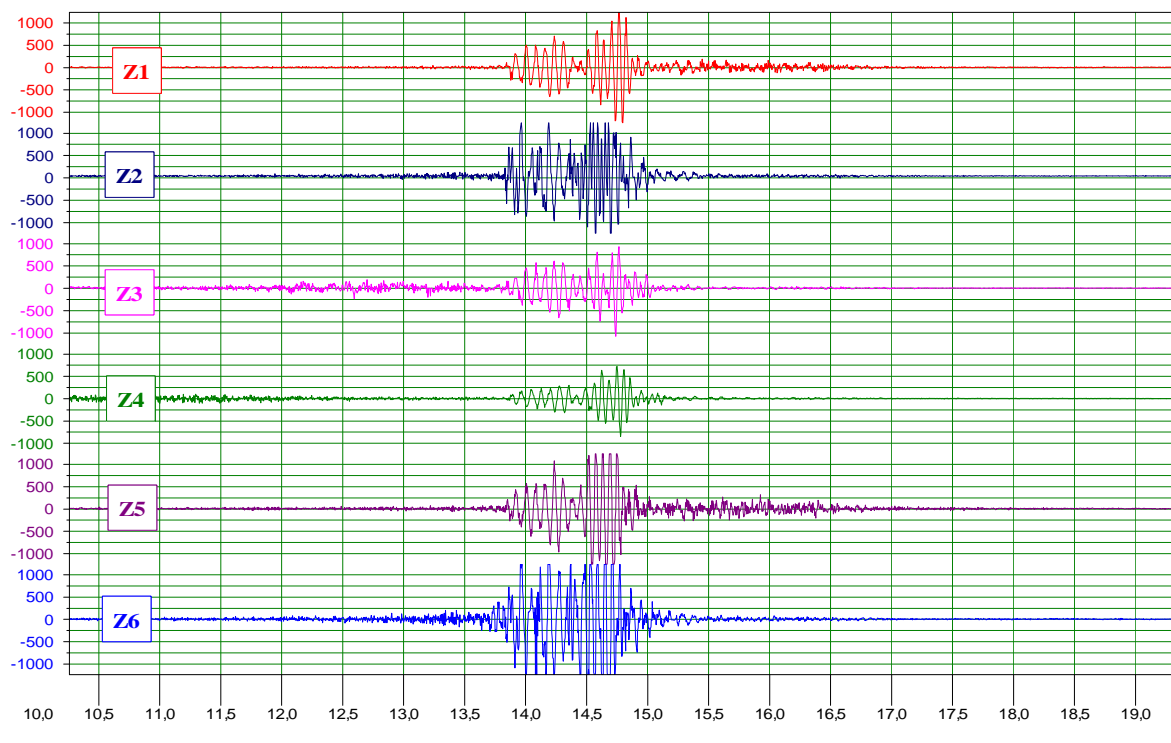
L'elaborazione è avvenuta utilizzando un software dedicato rispettoso delle indicazioni e delle formule riportate nelle norme UNI ISO 5347 e 5348.

6.5 Applicazione degli impulsi

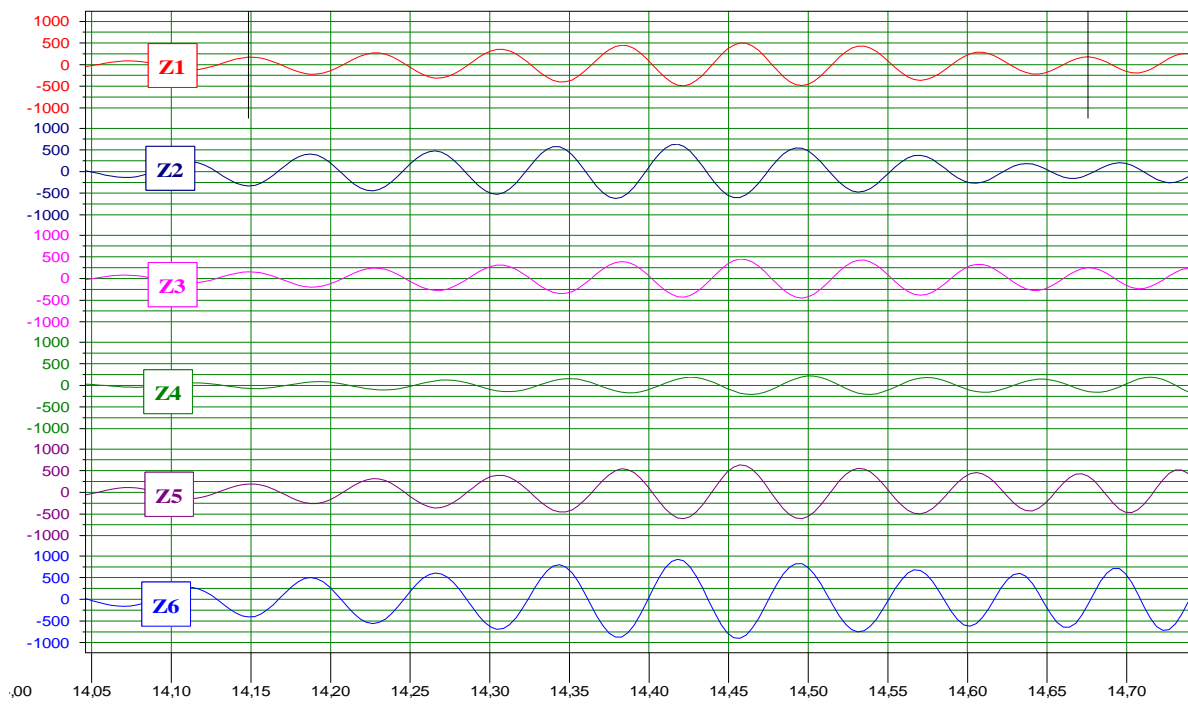
L'eccitazione della struttura è stata di tipo naturale e/o prodotta dalla spinta del vento.

6.6 Analisi dei dati

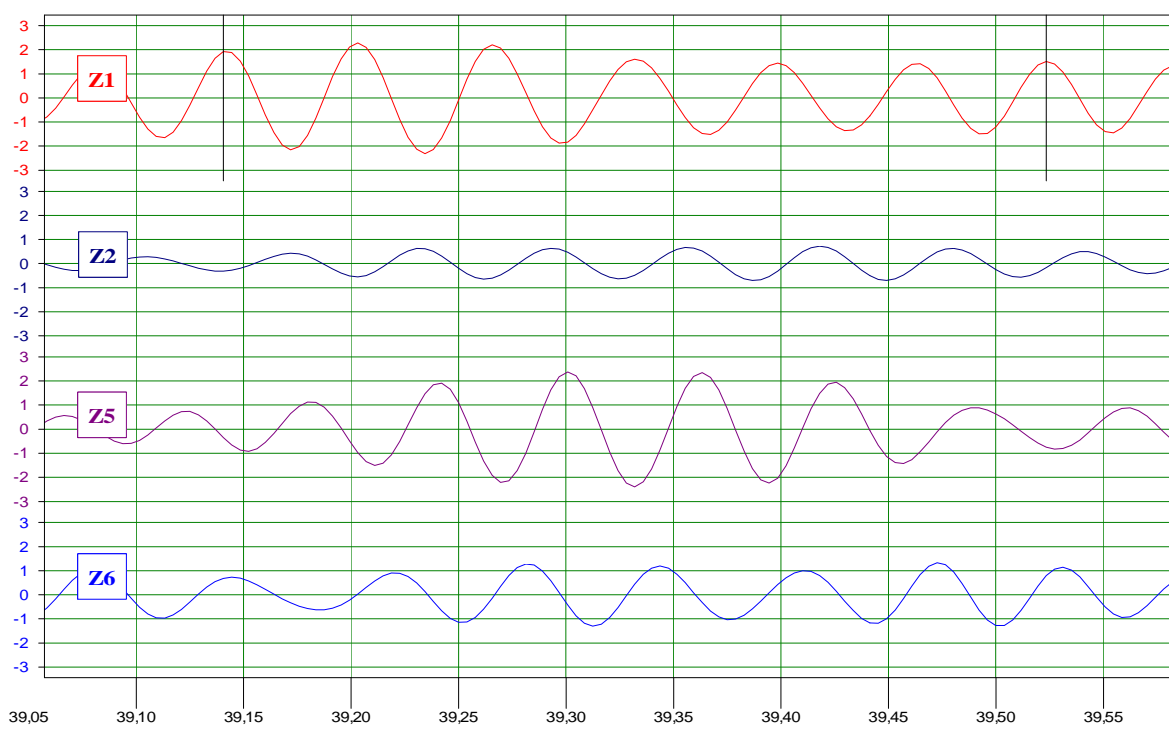
Nel grafico seguente si riporta l'oscillogramma dei 6 sensori verticali nell'acquisizione *F1*. In ascissa c'è il tempo in minuti ed in ordinata la velocità in mm/s.



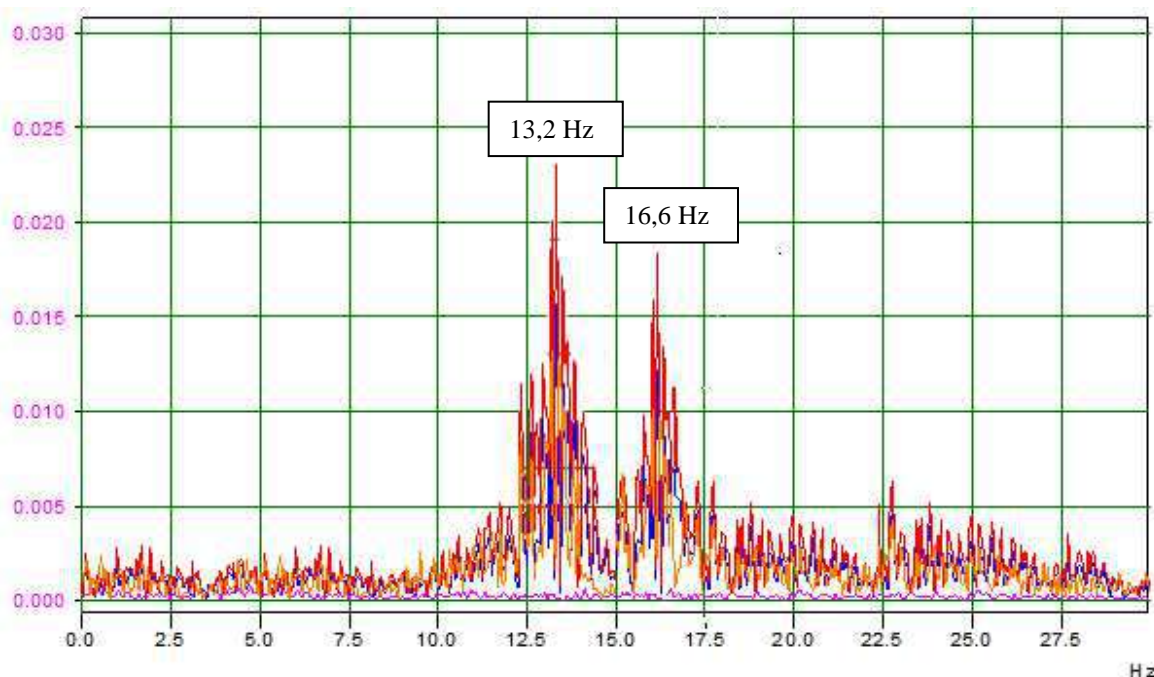
Di seguito è evidenziata una finestra temporale del segnale acquisito, filtrato attraverso un passa basso tipo Butterworth di 20 Hz. In direzione Z_1 , in fase con Z_3 e Z_5 e in controfase con Z_2 , Z_4 e Z_6 si possono contare 7 oscillazioni in un intervallo di 0,530 secondi, pari ad una frequenza $f = 7 / 0,53 = 13,2 \text{ Hz}$.



A seguire si riporta una finestra temporale del segnale acquisito, filtrato attraverso un passa basso tipo Butterworth di 20 Hz. In direzione Z_1 , in fase con Z_6 e in controfase con Z_2 e Z_5 si possono contare 6 oscillazioni in un intervallo di 0,362 secondi, pari ad una frequenza $f = 6 / 0,362 = 16,6 \text{ Hz}$.



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



6.7 Risultati

Nella tabella successiva la sintesi dei risultati ottenuti.

MODO	FREQUENZA [Hz]
Verticale Flessionale	13,2
Verticale Torsionale	16,6

Le elaborazioni consentono di ottenere una precisione di $\pm 0,1$ Hz.

7 PROVA DI CARICO STATICA DI ANALISI

Per il rilascio di una dichiarazione di transitabilità temporanea della struttura si è eseguita nella giornata del 18 dicembre 2014 una prova di carico di analisi con carichi ridotti (relazione AA/071/14 del 20/2/2015) e lo stato deformativo rilevato nelle diverse condizioni di carico è stato utilizzato per la calibrazione del modello numerico.

7.1 Strumentazione

La rilevazione delle deformazioni è stata effettuata con:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni GS05;
- 14 sensori inclinometrici *Midori Precisions PM-5TH-Z1*;;
- 10 trasduttori di spostamento di tipo LVDT modello *Schaevitz E 1000 HQ*;
- software di elaborazione 4 EMME Service S.p.A..

Caratteristiche sensori inclinometrici:

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

Caratteristiche sensori differenziali:

- risoluzione $\pm 0,001$ mm;
- ripetibilità 98,5%;
- linearità 99,4%.



Postazione di acquisizione

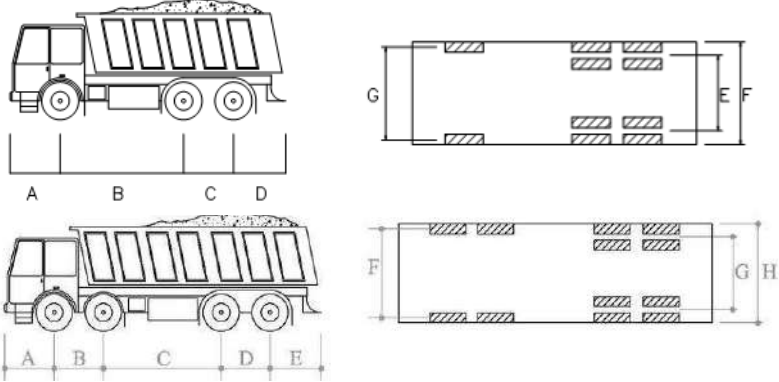


Sensori differenziali

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.

7.2 Applicazione del carico

La sollecitazione è stata ottenuta tramite un autocarro a 3 assi ed uno a 4 e di seguito se ne riportano le caratteristiche.

											
Camion a 3 assi											
N°	Peso [kN]			Distanze [m]							
	Ant.	Post.	Totale	A	B	C	D	E	F	G	
3	70,6	259,6	330,2	1,45	3,20	1,35	1,50	2,10	1,85	2,50	
Camion a 4 assi											
N°	Peso [kN]			Distanze [m]							
	Ant.	Post.	Totale	A	B	C	D	E	F	G	H
4	141,0	259,2	400,2	1,40	1,90	2,40	1,35	1,60	2,10	1,85	2,50

7.3 Descrizione della prova

Sono stati eseguiti su tutte le campate diversi cicli di carico e scarico, mantenendo le posizioni sino alla stabilizzazione delle deformazioni; il carico è stato ottenuto posizionando i camion sulla carreggiata in differenti condizioni, come indicato di seguito:

- primo asse posteriore del camion 3 in mezzeria – fase 33C (solo su I campata da sx);
- primo asse posteriore del camion 4 in mezzeria – fase 40C;
- primo asse posteriore del camion 3 in mezzeria sul lato monte, primo asse posteriore del camion 3 in mezzeria sul lato valle – fase 33V + 40M.

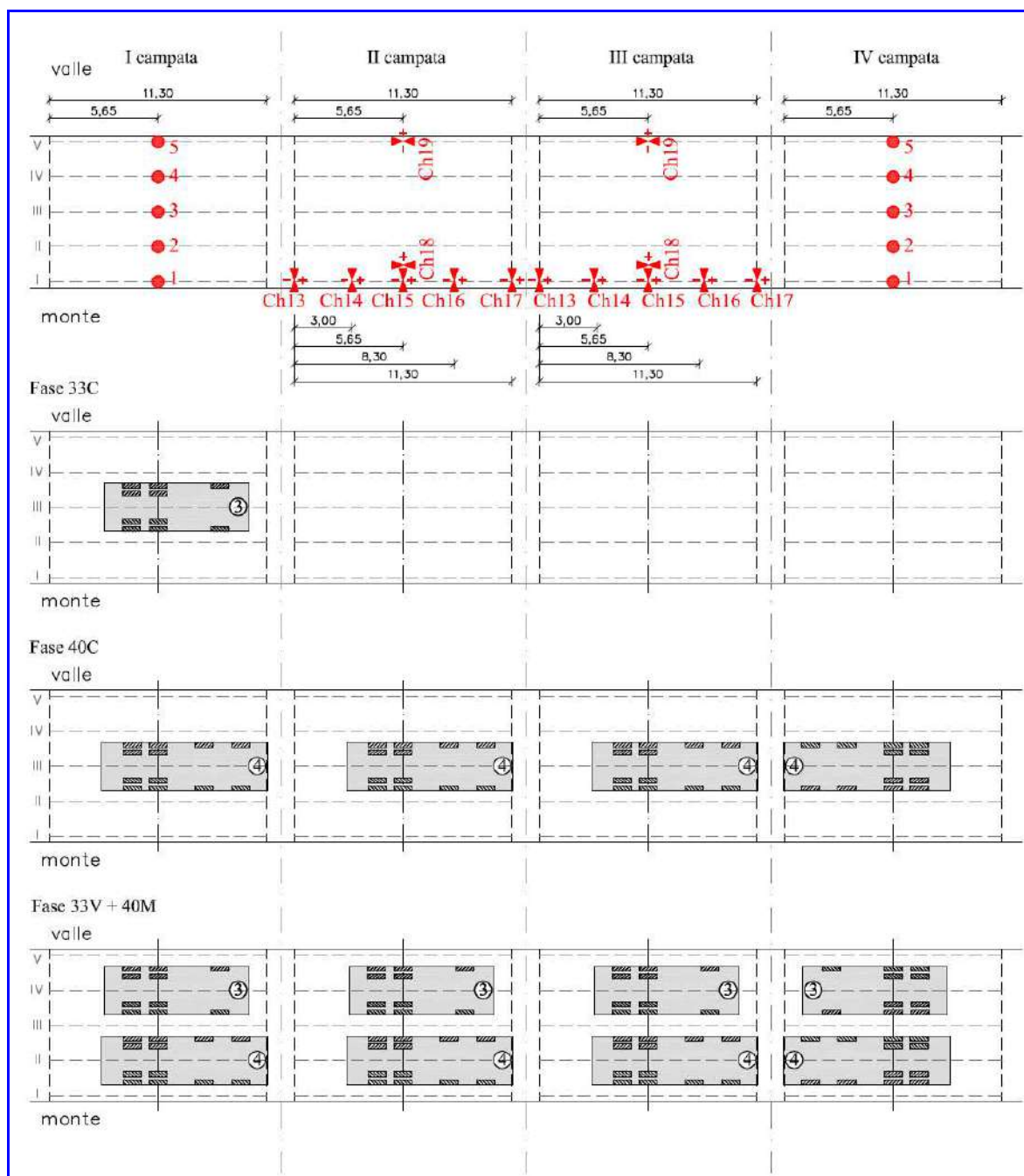


Fase 40C



Fase 33V + 40M

Di seguito sono riportate le posizioni dei sensori e le condizioni di carico eseguite.



Disposizione dei sensori e fasi di carico

7.4 Risultati

Nella tabelle seguenti sono riportati i valori delle deformazioni assolute rilevate per le quattro campate.

Ciclo	Fase	Deformazioni I Campata da sinistra [mm]				
		Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5
I	33C	0,50	0,65	0,75	0,69	0,51
	Scarico	0,06	0,06	0,05	0,03	0,02
II	33C	0,47	0,60	0,71	0,65	0,48
	Scarico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
III	40C	0,52	0,68	0,79	0,74	0,55
	Scarico	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
IV	40C	0,53	0,69	0,79	0,72	0,53
	Scarico	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
III	33V + 40M	1,21	1,27	1,36	1,31	1,19
	Scarico	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03
IV	33V + 40M	1,15	1,22	1,32	1,27	1,15
	Scarico	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01

Ciclo	Fase	Deformazioni II Campata da sinistra [mm]	
		Mezzeria Lato Monte	Mezzeria Lato Valle
I	40C	0,32	0,31
	Scarico	0,02	0,02
II	40C	0,31	0,30
	Scarico	0,00	0,01
III	33V + 40M	0,77	0,70
	Scarico	0,02	0,00
IV	33V + 40M	0,76	0,66
	Scarico	0,01	0,01

Ciclo	Fase	Deformazioni III Campata da sinistra [mm]	
		Mezzeria Lato Monte	Mezzeria Lato Valle
I	40C	0,32	0,38
	Scarico	0,00	0,00
II	40C	0,27	0,27
	Scarico	0,00	0,01
III	33V + 40M	0,77	0,83
	Scarico	0,00	0,01
IV	33V + 40M	0,83	0,70
	Scarico	0,01	0,01

Ciclo	Fase	Deformazioni IV Campata da sinistra [mm]				
		Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5
I	40C	0,52	0,72	0,84	0,74	0,51
	Scarico	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02
II	40C	0,49	0,69	0,79	0,66	0,45
	Scarico	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
III	33V + 40M	1,07	1,19	1,33	1,25	1,03
	Scarico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IV	33V + 40M	1,11	1,18	1,27	1,21	1,00
	Scarico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

7.5 Ispezione visiva post prova di carico

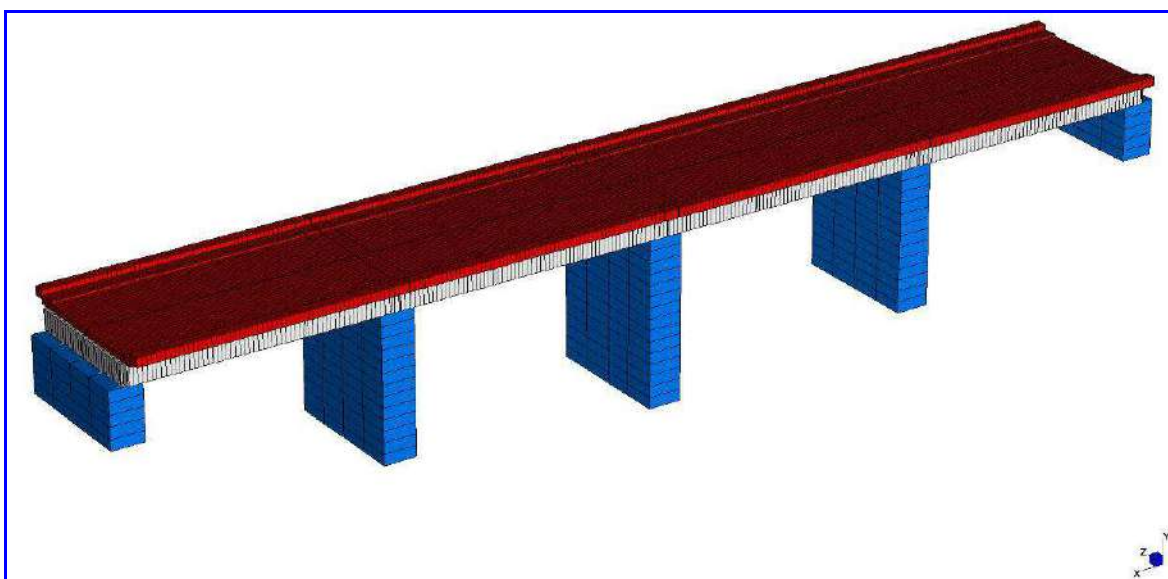
Dopo la prova di carico è stata eseguita un'ispezione visiva che **non ha evidenziato differenze nelle anomalie di carattere strutturale** rispetto all'ispezione visiva precedente.

8 SIMULAZIONE NUMERICA

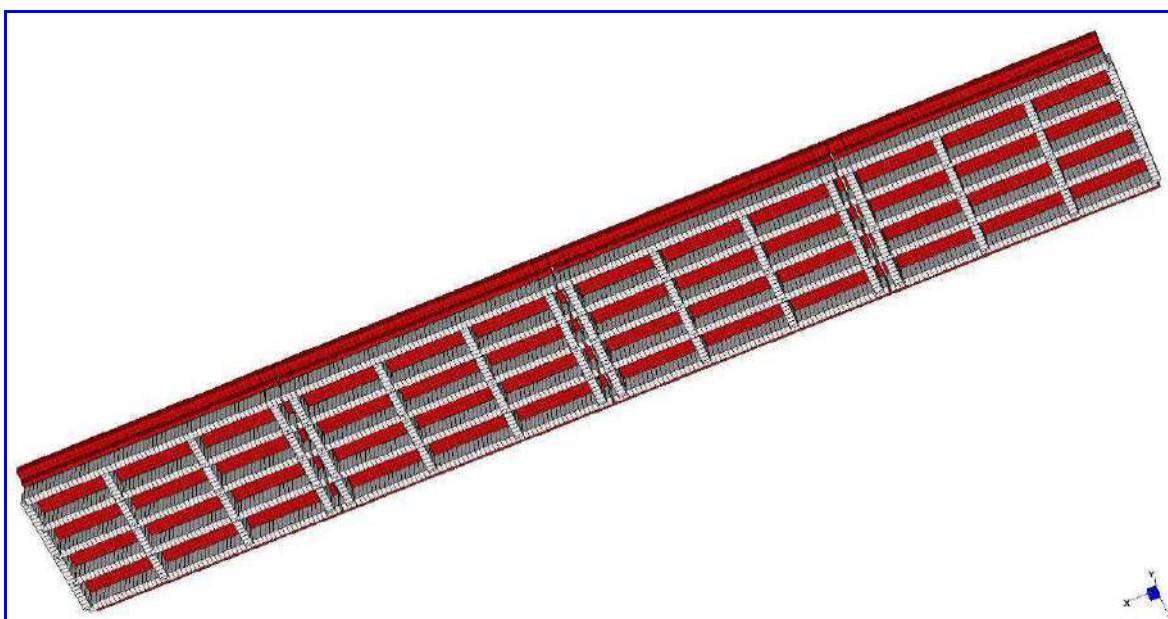
La modellazione numerica agli elementi finiti è stata eseguita con il software STRAUS 7, versione STRAND 2.4.6.

Il modello è stato realizzato sulla base del rilievo geometrico eseguito ed è stato calibrato sulla base della caratterizzazione dinamica nella presente relazione. 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.

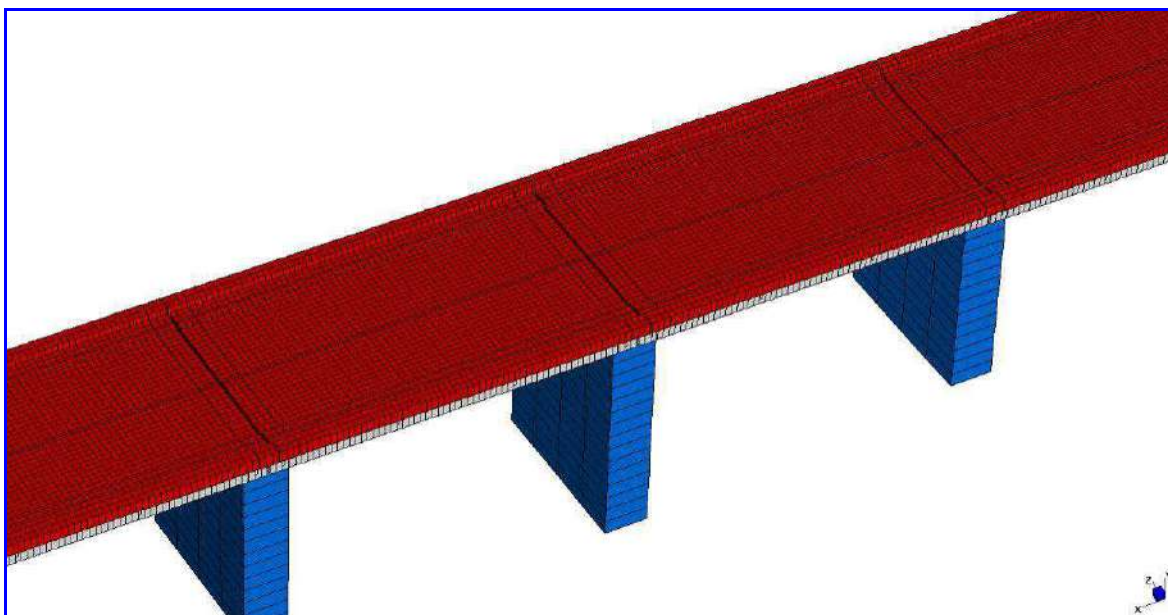
I risultati che il programma di calcolo fornisce per ogni elemento sono costituiti dagli spostamenti e dalle forze nodali, inoltre, mediante interpolazione dei valori di tensione calcolati nei punti citati, il programma di calcolo fornisce una rappresentazione grafica dello stato di tensione dell'intera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



Vista assonometrica



Intradosso impalcato



Particolare estradosso impalcato

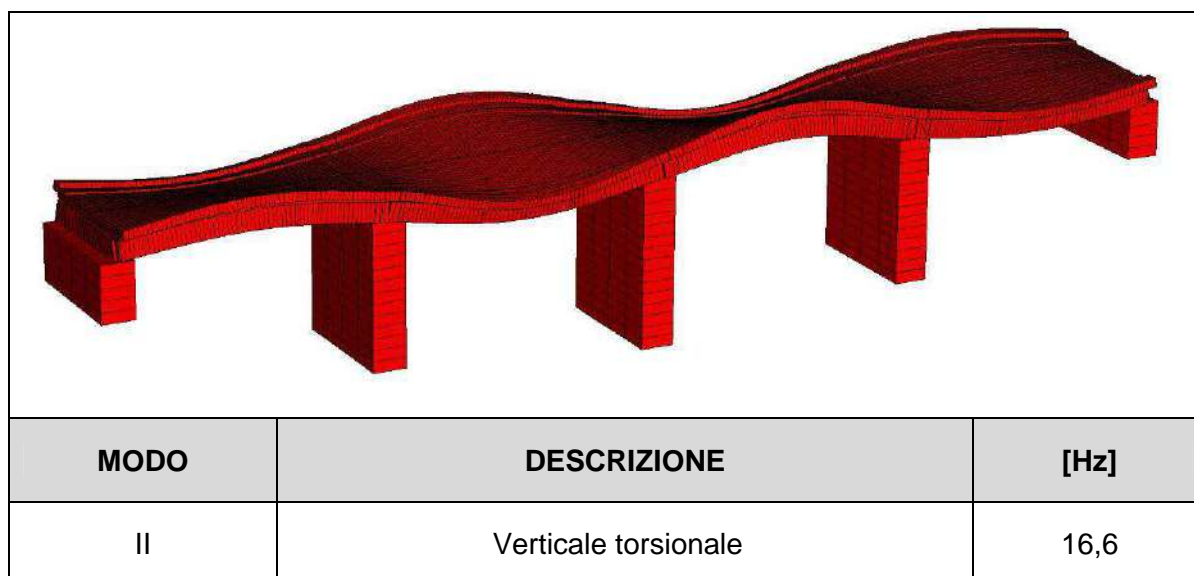
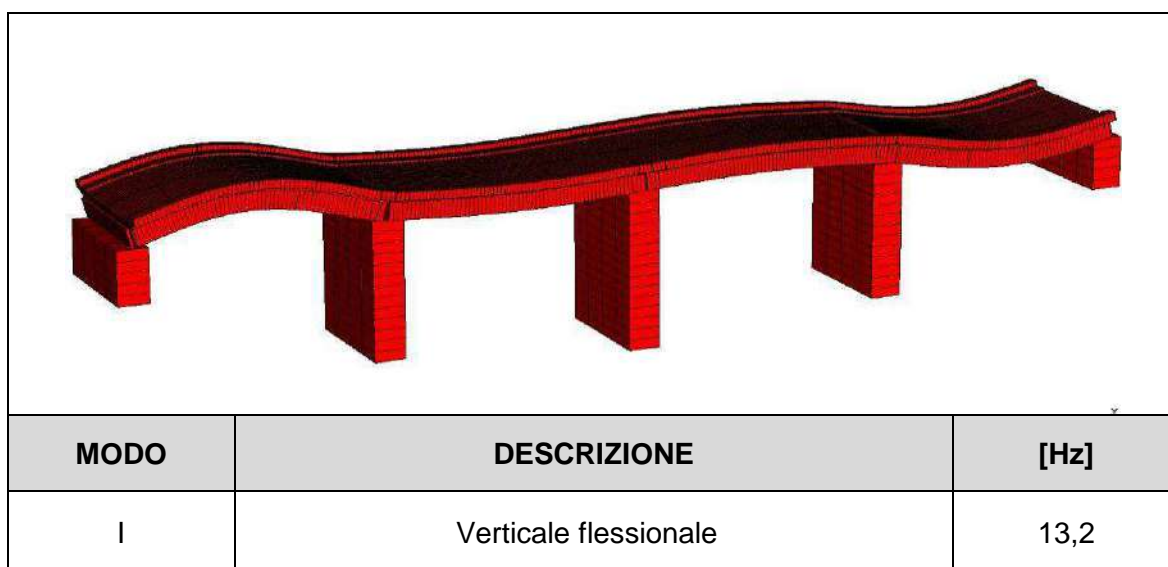
8.1 Il modello agli elementi finiti

Il modello ad elementi finiti è costituito da 10.782 nodi, da 1.802 beam e da 10.228 plate; gli appoggi sono stati modellati mediante elementi beam-connection con rigidità verticale ed orizzontale, 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]	P [kN/m ³]	MATERIALE
Travi longitudinali campate laterali	579 beam	28.000	25,00	Calcestruzzo
Travi longitudinali campate centrali	671 beam	31.000		
Traversi	512 beam	30.000		
Soletta	7.000 plate	32.000		
Cordolo	3.024 plate	33.000		
Spalle	40 plate	34.000		
Pile	164 plate	34.000		

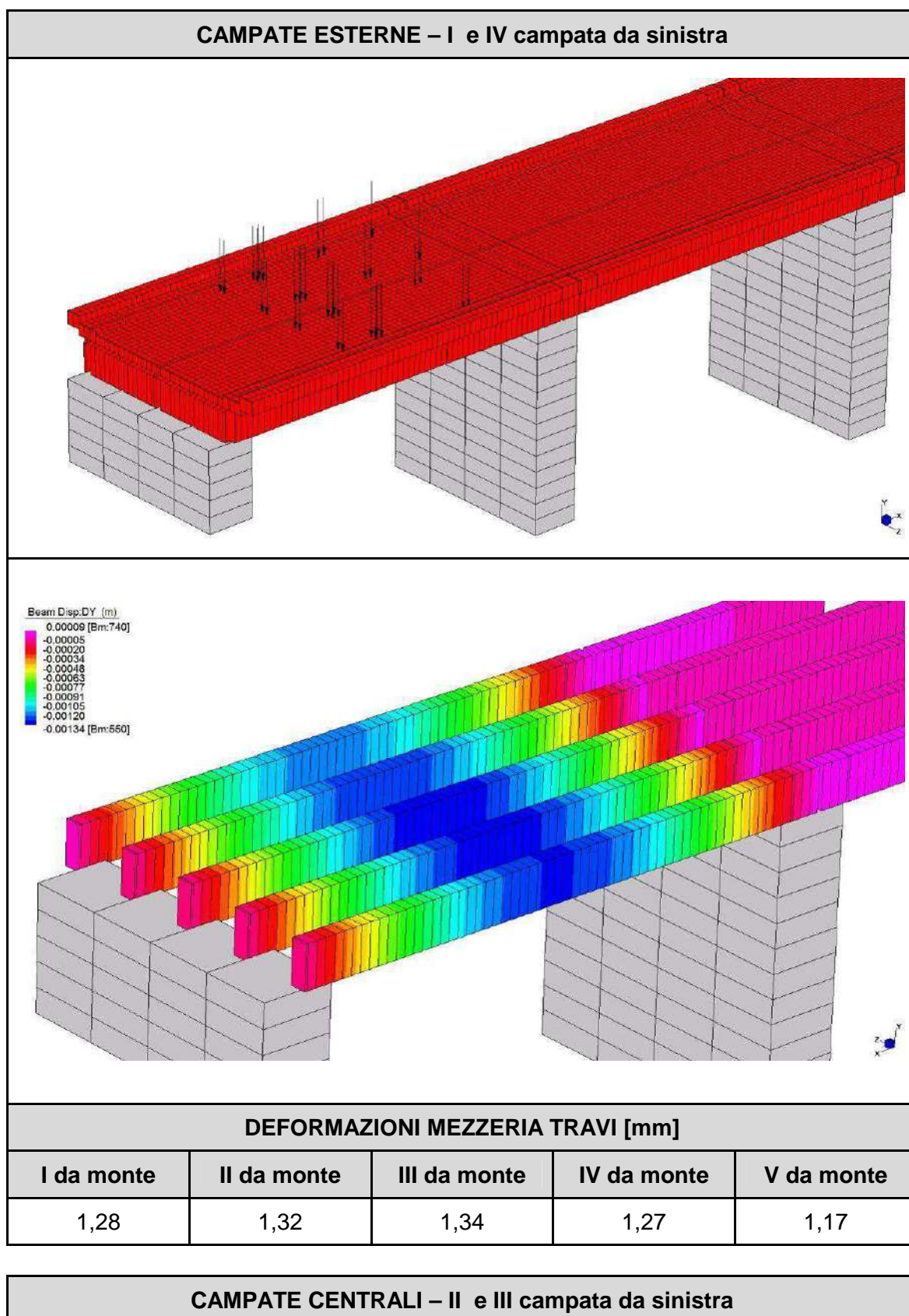
8.2 Identificazione dinamica

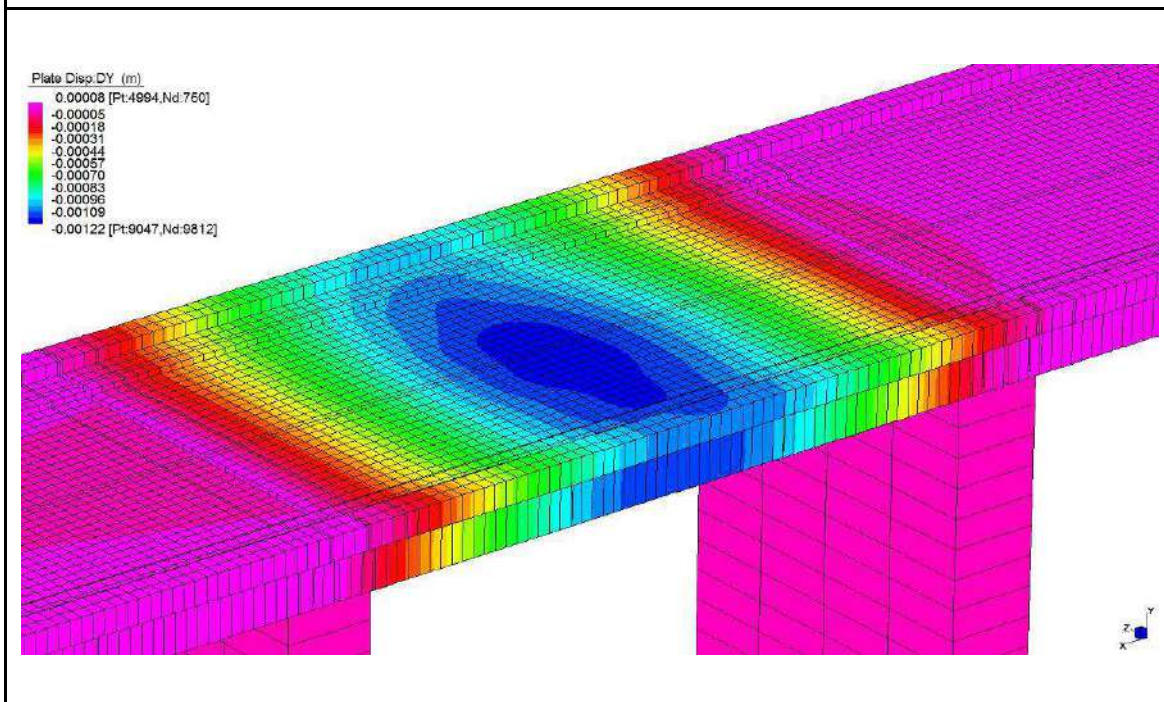
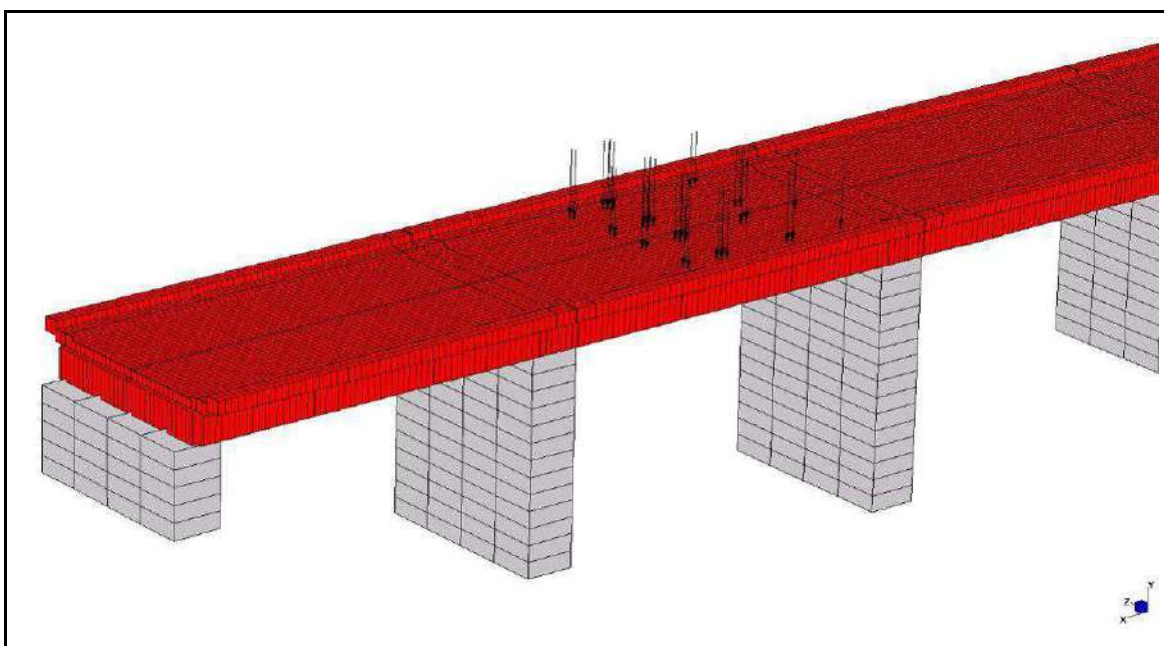
La metodologia per la valutazione delle frequenze e forme proprie di vibrazione è quella dell'analisi modale. Essa richiede esclusivamente la conoscenza della matrice di rigidezza e della matrice di massa del sistema discretizzato. Sia la matrice di rigidezza che quella di massa della struttura è determinata 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.



8.3 Analisi dello stato di deformazione dovuto alla prova di carico di analisi

A seguire si riportano le condizioni rappresentative dei carichi di prova ed i rispettivi abbassamenti della struttura per ognuna delle campate analizzate.





DEFORMAZIONI MEZZERIA BORDO IMPALCATO [mm]

Monte	Valle
0,86	0,74

8.4 Analisi dello stato di sollecitazione dovuto ai carichi di normativa

La valutazione delle azioni è stata effettuata con riferimento ai pesi propri stimati, anche in relazione alle indagini effettuate, alle azioni prescritte dal *D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni*. Nel seguito sono precisate le modalità con cui sono state valutate le azioni insieme con la loro modellazione nell'ambito della schematizzazione agli elementi finiti e sono riportate le condizioni di carico utilizzate nell'analisi del ponte.

8.4.1 Azioni permanenti

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

8.4.2 Azioni variabili da traffico

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



Schema carichi mobili

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]
$w < 5,40$ m	$n_l = 1$	3,00	$(w - 3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0$ 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

Nella struttura in oggetto si sono considerate compatibilmente con la larghezza della carreggiata due corsie di carico, precisamente:

- 1^a 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/m²

- 2^a corsia di carico:

Q_{1k} carico asse da 200 kN per un totale di	400 kN
q_{1k} carico distribuito pari a	2,50 kN/m ²
- q_{rk} carico su area rimanente della carreggiata 2,50 kN/m²

8.4.3 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 $P_k = 2,50 \text{ kN/m}^2$.

8.4.4 Azione sismica

L'azione sismica è stata calcolata mediante un'analisi lineare dinamica e di seguito si riportano i parametri, i coefficienti e le formule utilizzate per la valutazione dello spettro elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e di quella verticale.

Parametri di pericolosità del sito				
Regione	Comune	Frazione	Longitudine	Latitudine
Emilia-Romagna	Ravenna	Seconda	12,197013	44,396337

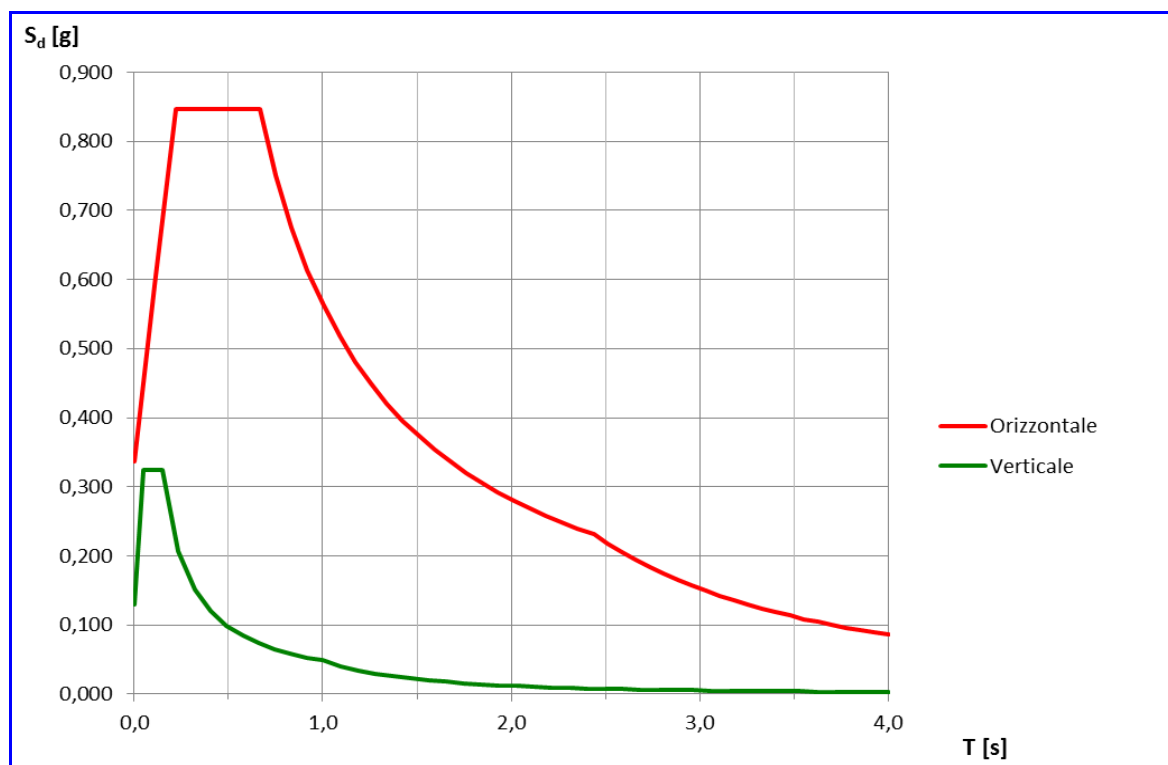
Parametri di progettazione						
Vita Nominale [anni]	Classe d'uso	Coeff. d'uso	Periodo di riferimento [anni]	Stato Limite Ultimo	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno [anni]
V_N		C_U	V_R		P_{VR}	T_R
50	II	1,0	50	SLC	5%	975

Parametri di riferimento forme spettrali				
Accelerazione massima al sito		Fattore amplificazione spettrale		Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
Orizzontale	Verticale	Orizzontale	Verticale	
a_g	a_{gv}	F_o	F_v	
0,218 g	0,137 g	2,489	$1,35 \cdot F_o \cdot (a_g/g)^{0,5}$	T_C^*
				0,286 s

Coefficienti azione sismica				
Componente accelerazione	Categoria sottosuolo	D	Categoria topografica	T1
	Amplificazione stratigrafica		Amplificazione topografica	
	S_s	C_c	S_T	Fattore di alterazione spettro per smorzamenti $\xi \neq 0,05$
Orizzontale	1,588	2,336	1,000	η
Verticale	1,000	—	1,000	1,000

Formule per spettro orizzontale	T_B	T_C	T_D
$0 \leq T < T_B$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$			
$T_B \leq T < T_C$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$	$\frac{T_C}{3}$	$C_C \cdot T^*_{C}$	$4 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$
$T_C \leq T < T_D$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$			
$T_D \leq T$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$			

Formule per spettro verticale	T_B	T_C	T_D
$0 \leq T < T_B$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$			
$T_B \leq T < T_C$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$	0,05 s	0,15 s	1,00 s
$T_C \leq T < T_D$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$			
$T_D \leq T$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$			



8.5 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:

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

$$F_d = E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \dots \quad (\text{SLU – Combinazione Sismica})$$

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

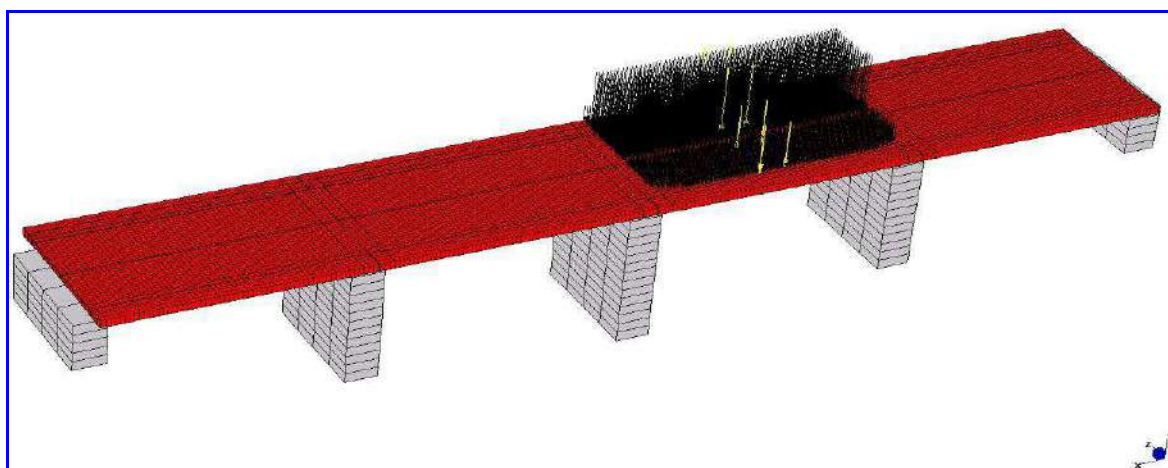
SLU – Combinazione fondamentale

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

SLU – Combinazione Sismica

Combinazione	AZIONI				
	Sisma longitudinale	Sisma trasversale	Sisma verticale	Permanenti	Variabili da traffico
	E_x	E_z	E_y		
F_1	1,0	0,3	0,3	1,0	0,2
F_2	0,3	1,0	0,3		
F_3	0,3	0,3	1,0		

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*.

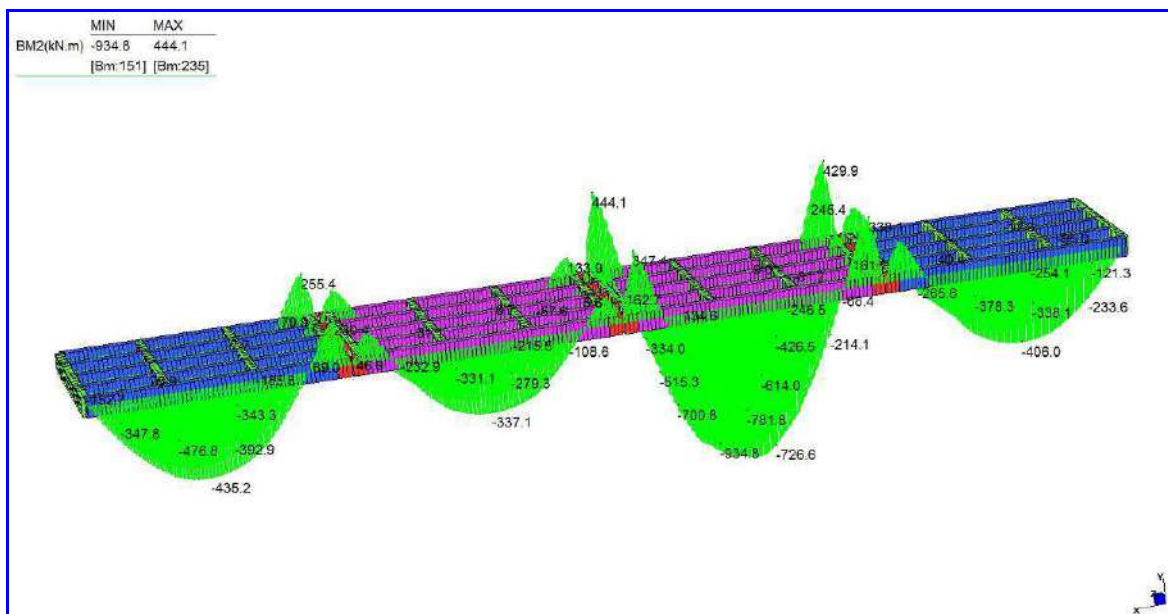


Posizione carichi variabili da traffico – Massimo momento trave bordo campate centrali

8.6 Risultati e verifiche

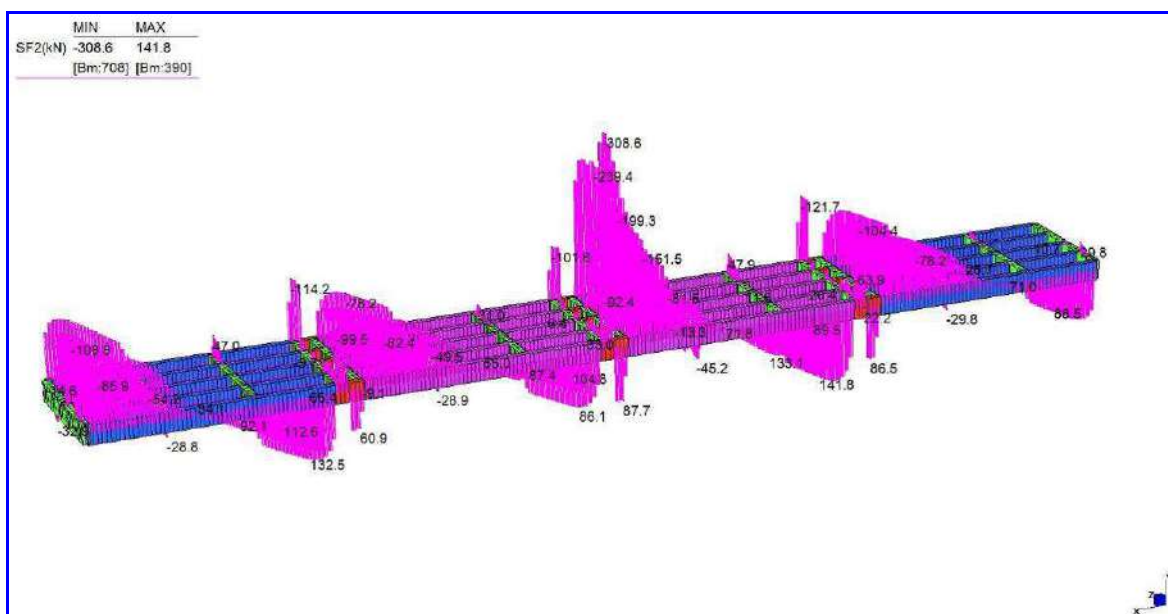
Nei paragrafi successivi si riportano i valori massimi di sollecitazione ricavati dal modello per la combinazione fondamentale e per quella sismica con le rispettive verifiche degli elementi strutturali maggiormente sollecitati suddivisi per tipologia di sezione.

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.



Momento flettente sulle travi [kNm]

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*.



Azione tagliente sulle travi [kN]

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 θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

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

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:

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

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

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

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 σ_{cp} 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;		
α	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;		
f'_{cd}	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$);		
α_c	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrane 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 $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

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 del calcestruzzo f_{ck} secondo la formula di normativa $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3}$ con $f_{cm} = f_{ck} + 8$, approssimando poi a favore di sicurezza all'intero inferiore.
- Per la tensione di snervamento dell'acciaio si è assunta quella fornita dalle prove di Laboratorio, $f_{yk} = 215$ MPa corrispondente a quella di un acciaio FeB22k.

8.6.1 Verifica dell'analisi spettrale per l'azione sismica

La Normativa al cap. 7.3.3.1 richiede che "Devono essere considerati tutti i modi con massa partecipante significativa. È opportuno a tal riguardo considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%."

L'analisi mostra che il contributo delle masse partecipanti nelle tre direzioni in cui si è considerata l'azione sismica è pari rispettivamente a:

- 85% direzione longitudinale X,
- 80% direzione trasversale Z,
- 80% direzione verticale Y.

Di seguito si riportano i tabulati delle masse eccitate nelle tre direzioni, ottenuti dal report del processore di calcolo agli elementi finiti.

EXCITATION CASE 1/3 : "Sisma long"
 DIRECTION VECTOR : (9.810000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
 SPECTRAL TABLE : "Spettro Orizzontale"

MODAL EXCITATION

Mode	Spectral Value	Excitation	Amplitude	Participation (%)
1	5.181598E-01	1.119125E+03	8.257945E-02	2.117
2	5.176572E-01	2.863683E+02	2.098804E-02	0.139
3	5.107721E-01	7.245216E+02	4.829885E-02	0.887
4	5.012570E-01	1.936872E-01	1.125838E-05	0.000
5	4.838211E-01	3.792893E-01	1.679583E-05	0.000
6	4.814937E-01	3.844526E+01	1.637925E-03	0.002
7	4.788711E-01	9.595906E-01	3.911232E-05	0.000
8	4.731643E-01	1.394800E+01	5.148654E-04	0.000
9	4.473808E-01	6.356361E+03	1.415658E-01	68.301
10	4.406734E-01	4.743360E+01	9.087008E-04	0.004
11	4.283335E-01	1.056767E+00	1.492918E-05	0.000
12	4.104670E-01	1.832394E+01	1.531008E-04	0.001
13	4.063352E-01	2.935789E-01	2.131396E-06	0.000
14	4.043267E-01	9.766354E-01	6.600854E-06	0.000
15	4.007028E-01	2.078821E+02	1.227521E-03	0.073
16	4.004136E-01	1.026386E-01	5.993598E-07	0.000
17	3.997506E-01	1.042729E+02	5.934366E-04	0.018
18	3.996883E-01	1.112674E+01	6.317031E-05	0.000
19	3.987976E-01	2.342311E+02	1.283983E-03	0.093
20	3.981942E-01	1.314884E+01	7.036343E-05	0.000
21	3.974049E-01	8.815099E+01	4.569202E-04	0.013
22	3.967173E-01	2.574419E+00	1.297384E-05	0.000
23	3.943358E-01	5.199460E-01	2.370193E-06	0.000
24	3.942748E-01	4.403865E+00	2.002253E-05	0.000
25	3.933453E-01	1.254989E+01	5.479718E-05	0.000
26	3.931627E-01	1.913988E-01	8.290269E-07	0.000
27	3.882363E-01	3.879960E+01	1.337383E-04	0.003
28	3.854406E-01	3.856026E-01	1.154430E-06	0.000
29	3.830853E-01	4.200624E+02	1.108562E-03	0.298
30	3.830542E-01	2.797810E+02	7.370863E-04	0.132
31	3.827341E-01	2.798860E+01	7.244053E-05	0.001
32	3.826112E-01	9.950537E+02	2.557840E-03	1.674
33	3.802340E-01	3.443956E+03	7.720896E-03	20.051
34	3.796977E-01	2.334695E+01	5.068808E-05	0.001
35	3.772614E-01	1.689801E+01	3.151225E-05	0.000
36	3.769558E-01	7.865803E+01	1.438033E-04	0.010
37	3.768981E-01	4.697521E+02	8.555747E-04	0.373
38	3.762929E-01	3.837199E+02	6.715348E-04	0.249
39	3.757876E-01	1.571066E+00	2.657808E-06	0.000
40	3.756959E-01	2.773070E+01	4.662242E-05	0.001
41	3.754189E-01	7.700593E+01	1.270464E-04	0.010
42	3.750080E-01	1.337379E+01	2.144892E-05	0.000
43	3.749926E-01	2.003662E-01	3.210038E-07	0.000
44	3.749120E-01	1.029466E+00	1.640091E-06	0.000
45	3.747458E-01	3.031259E+00	4.773593E-06	0.000
46	3.742563E-01	2.299102E-01	3.497849E-07	0.000
47	3.730114E-01	1.652483E+01	2.297016E-05	0.000
48	3.722712E-01	2.146807E-01	2.822896E-07	0.000
49	3.720475E-01	3.832781E+00	4.954522E-06	0.000
50	3.719702E-01	7.122110E+01	9.152096E-05	0.009
51	3.714259E-01	3.133516E+01	3.860103E-05	0.002
52	3.713938E-01	4.640069E+00	5.701634E-06	0.000
53	3.712468E-01	2.333874E+00	2.834837E-06	0.000
54	3.709711E-01	8.872835E+01	1.054430E-04	0.013
55	3.707345E-01	1.294728E+02	1.509760E-04	0.028
56	3.706680E-01	2.127445E+00	2.467542E-06	0.000
57	3.703156E-01	2.679867E+00	3.020636E-06	0.000
58	3.702146E-01	1.198680E+02	1.339970E-04	0.024
59	3.696828E-01	1.524885E+01	1.631133E-05	0.000
60	3.694553E-01	3.639383E+01	3.819187E-05	0.002

 TOTAL MASS PARTICIPATION 94.534%

EXCITATION CASE 2/3 : "Sisma trasv"
 DIRECTION VECTOR : (0.000000E+00, 0.000000E+00, 9.810000E+00)
 SPECTRAL TABLE : "Spettro Orizzontale"

MODAL EXCITATION				
Mode	Spectral Value	Excitation	Amplitude	Participation (%)
1	5.181598E-01	1.180800E+02	8.713047E-03	0.024
2	5.176572E-01	3.277588E+01	2.402157E-03	0.002
3	5.107721E-01	4.731517E+01	3.154175E-03	0.004
4	5.012570E-01	9.020849E-02	5.243510E-06	0.000
5	4.838211E-01	7.739155E-01	3.427082E-05	0.000
6	4.814937E-01	1.122420E+03	4.781967E-02	2.130
7	4.788711E-01	1.311311E+00	5.344823E-05	0.000
8	4.731643E-01	1.238316E+03	4.571021E-02	2.593
9	4.473808E-01	5.926463E+01	1.319913E-03	0.006
10	4.406734E-01	6.228933E+03	1.193297E-01	65.611
11	4.283335E-01	1.315984E+00	1.859120E-05	0.000
12	4.104670E-01	3.328524E+03	2.781060E-02	18.735
13	4.063352E-01	1.188138E+00	8.625933E-06	0.000
14	4.043267E-01	3.683119E+00	2.489336E-05	0.000
15	4.007028E-01	2.528762E+02	1.493206E-03	0.108
16	4.004136E-01	7.799605E-01	4.554594E-06	0.000
17	3.997506E-01	3.687489E+02	2.098619E-03	0.230
18	3.996883E-01	4.725329E+01	2.682730E-04	0.004
19	3.987976E-01	2.419250E+02	1.326159E-03	0.099
20	3.981942E-01	1.182917E+01	6.330148E-05	0.000
21	3.974049E-01	1.134920E+02	5.882723E-04	0.022
22	3.967173E-01	1.385102E+00	6.980248E-06	0.000
23	3.943358E-01	1.796458E+01	8.189222E-05	0.001
24	3.942748E-01	4.571557E+02	2.078495E-03	0.353
25	3.933453E-01	2.941027E+02	1.284154E-03	0.146
26	3.931627E-01	1.740168E-01	7.537381E-07	0.000
27	3.882363E-01	6.222259E+02	2.144750E-03	0.655
28	3.854406E-01	2.165470E-01	6.483059E-07	0.000
29	3.830853E-01	3.162504E+02	8.345979E-04	0.169
30	3.830542E-01	1.964701E+02	5.176030E-04	0.065
31	3.827341E-01	2.145065E+00	5.551890E-06	0.000
32	3.826112E-01	2.912528E+02	7.486813E-04	0.143
33	3.802340E-01	6.336511E+01	1.420562E-04	0.007
34	3.796977E-01	2.038956E+00	4.426735E-06	0.000
35	3.772614E-01	1.783722E+01	3.326373E-05	0.001
36	3.769558E-01	1.159253E+02	2.119357E-04	0.023
37	3.768981E-01	7.671383E+02	1.397214E-03	0.995
38	3.762929E-01	5.584906E+02	9.773947E-04	0.527
39	3.757876E-01	1.235089E+01	2.089429E-05	0.000
40	3.756959E-01	4.509342E+02	7.581360E-04	0.344
41	3.754189E-01	3.089850E+02	5.097714E-04	0.161
42	3.750080E-01	1.232328E+02	1.976411E-04	0.026
43	3.749926E-01	5.042748E+00	8.078911E-06	0.000
44	3.749120E-01	4.762778E+00	7.587807E-06	0.000
45	3.747458E-01	5.377098E+02	8.467795E-04	0.489
46	3.742563E-01	1.188179E-01	1.807692E-07	0.000
47	3.730114E-01	2.697431E+02	3.749534E-04	0.123
48	3.722712E-01	1.190919E+00	1.565973E-06	0.000
49	3.720475E-01	1.147032E+01	1.482734E-05	0.000
50	3.719702E-01	1.143434E+02	1.469342E-04	0.022
51	3.714259E-01	4.766382E+01	5.871592E-05	0.004
52	3.713938E-01	1.389640E+01	1.707565E-05	0.000
53	3.712468E-01	4.376782E+00	5.316253E-06	0.000
54	3.709711E-01	1.437617E+02	1.708436E-04	0.035
55	3.707345E-01	2.575624E+01	3.003391E-05	0.001
56	3.706680E-01	1.918237E+01	2.224890E-05	0.001
57	3.703156E-01	3.371935E+01	3.800707E-05	0.002
58	3.702146E-01	7.833688E+01	8.757056E-05	0.010
59	3.696828E-01	3.435994E+01	3.675400E-05	0.002
60	3.694553E-01	5.148365E+01	5.402719E-05	0.004

 TOTAL MASS PARTICIPATION 93.878%

EXCITATION CASE 3/3 : "Sisma vert"
 DIRECTION VECTOR : (0.000000E+00, 9.810000E+00, 0.000000E+00)
 SPECTRAL TABLE : "Spettro Verticale"

MODAL EXCITATION				
Mode	Spectral Value	Excitation	Amplitude	Participation (%)
1	3.410000E-01	1.142228E+03	5.546729E-02	2.168
2	3.410000E-01	4.487086E+03	2.166324E-01	33.459
3	3.410000E-01	1.212911E+01	5.398106E-04	0.000
4	3.410000E-01	4.669290E+03	1.846373E-01	36.231
5	3.410000E-01	2.202512E+00	6.874146E-05	0.000
6	3.410000E-01	2.460789E+00	7.424877E-05	0.000
7	3.410000E-01	3.232345E+01	9.381690E-04	0.002
8	3.410000E-01	9.099630E-01	2.420739E-05	0.000
9	3.178741E-01	5.486272E-01	8.681704E-06	0.000
10	3.060243E-01	1.191181E+00	1.584717E-05	0.000
11	2.842236E-01	3.552336E-01	3.330037E-06	0.000
12	2.526592E-01	1.189879E+00	6.119534E-06	0.000
13	2.453596E-01	2.037248E+01	8.931037E-05	0.001
14	2.418112E-01	6.674142E+02	2.697784E-03	0.740
15	2.354090E-01	4.671201E-01	1.620470E-06	0.000
16	2.348981E-01	1.775555E+02	6.082494E-04	0.052
17	2.337268E-01	3.247898E+00	1.080749E-05	0.000
18	2.336166E-01	1.808277E+01	6.000565E-05	0.001
19	2.320432E-01	2.788927E+00	8.895454E-06	0.000
20	2.309772E-01	1.467723E+02	4.555937E-04	0.036
21	2.295827E-01	1.455907E+00	4.359660E-06	0.000
22	2.283680E-01	8.218531E+01	2.384171E-04	0.011
23	2.241605E-01	1.354452E+01	3.509797E-05	0.000
24	2.240528E-01	6.134866E-02	1.585044E-07	0.000
25	2.224107E-01	1.112483E-01	2.746585E-07	0.000
26	2.220880E-01	1.714420E+01	4.194686E-05	0.000
27	2.133847E-01	3.620947E-01	6.859901E-07	0.000
28	2.084456E-01	1.134102E+02	1.836179E-04	0.021
29	2.042845E-01	2.086812E+01	2.936767E-05	0.001
30	2.042295E-01	4.729016E+01	6.642466E-05	0.004
31	2.036640E-01	4.368386E+02	6.016426E-04	0.317
32	2.034469E-01	7.884061E+00	1.077632E-05	0.000
33	1.992472E-01	1.453307E+01	1.707295E-05	0.000
34	1.982998E-01	1.258913E+03	1.427433E-03	2.634
35	1.939955E-01	3.411839E+03	3.271761E-03	19.344
36	1.934557E-01	3.979305E+02	3.733568E-04	0.263
37	1.933537E-01	1.265822E+01	1.182743E-05	0.000
38	1.922846E-01	3.921520E+00	3.506929E-06	0.000
39	1.913918E-01	8.943984E+02	7.706215E-04	1.329
40	1.912299E-01	2.199975E+01	1.882656E-05	0.001
41	1.907404E-01	4.037759E+00	3.384582E-06	0.000
42	1.900146E-01	8.132921E+00	6.609124E-06	0.000
43	1.899873E-01	3.101360E+01	2.517327E-05	0.002
44	1.898449E-01	4.825220E+02	3.892627E-04	0.387
45	1.895512E-01	5.304031E+00	4.224918E-06	0.000
46	1.886865E-01	6.226831E+01	4.776190E-05	0.006
47	1.864872E-01	8.741163E+00	6.074675E-06	0.000
48	1.851794E-01	4.196643E+02	2.744967E-04	0.293
49	1.847842E-01	3.263673E+02	2.095371E-04	0.177
50	1.846477E-01	4.492469E+01	2.865713E-05	0.003
51	1.836861E-01	7.787043E+00	4.743989E-06	0.000
52	1.836294E-01	1.417954E+02	8.614790E-05	0.033
53	1.833697E-01	7.644729E+01	4.586460E-05	0.010
54	1.828826E-01	1.231142E+02	7.212668E-05	0.025
55	1.824646E-01	4.882929E+01	2.802369E-05	0.004
56	1.823472E-01	1.161210E+02	6.625686E-05	0.022
57	1.817246E-01	2.987930E+02	1.652713E-04	0.148
58	1.815461E-01	6.349054E+01	3.480441E-05	0.007
59	1.806065E-01	1.875520E+02	9.801175E-05	0.058
60	1.802047E-01	8.132573E+01	4.162701E-05	0.011

 TOTAL MASS PARTICIPATION 97.804%

8.6.2 Verifica massima azione flettente

Di seguito le verifiche degli elementi strutturali maggiormente sollecitati suddivisi per tipologia di sezione.

Mezzeria travi di bordo

Sollecitazioni massime

Combinazione	Momento Flettente [kNm]	
	Positivo	Negativo
F_0	934,8	-444,1

Proprietà materiali

Calcestruzzo		Acciaio	
E	f_{ck}	E_s	f_{yk}
28.000	14	200.000	215

Caratteristiche sezione rettangolare

Sezione	B/H [cm]	Copriferro [cm]	Armatura			
			Inferiore		Superiore	
			nr. / ϕ	A_s [cm ²]	nr. / ϕ	A_s [cm ²]
Mezzeria	35/90	3,0	4 ϕ 32	32,17	3 ϕ 32	24,13
		6,0	2 ϕ 32	16,08		

Verifica sezione momento positivo

Titolo : Trave L/2 - A16

N° figure elementari Zoom

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	35	90

N°	A_s [cm ²]	d [cm]
1	24.13	1.5
2	16.08	84
3	32.17	87

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N kN

M kNm

M kNm

M kNm

P.to applicazione N

☒ Centro ☐ Baricentro cls

☐ Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

FeB22k fck 14

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰

f_{yd} 187 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰

E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 7.933

E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8

ϵ_{syd} 0.935 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 2.25

$\sigma_{s,adm}$ 115 N/mm² τ_{co} 0.2

τ_{c1} 0.9714

M kNm

σ_c -7.933 N/mm²

σ_s 187 N/mm²

ϵ_c 3.5 ‰

ϵ_s 11.68 ‰

d 87 cm

x 20.06 x/d 0.2306

δ 0.7282

Metodo di calcolo

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☐ Metodo n

Tipo flessione

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

☐ Precompresso

$M_{Rd} = 731,5 \text{ kNm} < M_{Ed} = 934,8 \text{ kNm}$

verifica non soddisfatta

Verifica sezione momento negativo

Titolo: Trave L/2 - A16

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	35	90

N°	As [cm²]	d [cm]
1	24.13	1.5
2	16.08	84
3	32.17	87

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 300 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.- ☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

Materiali
FeB22k fck 14
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 187 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 7.933 N/mm²
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 0.935 ‰ σ_{c,adm} 2.25 N/mm²
σ_{s,adm} 115 N/mm² τ_{co} 0.2
τ_{c1} 0.9714

Calcolo MRd
M_{xRd} -394.7 kNm
σ_c -7.933 N/mm²
σ_s 187 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 60.07 ‰
d 88.5 cm
x 4.872 x/d 0.05505
δ 0.7

Calcola MRd **Calcola M-N** **Col. modello** **Precompresso**

Verifica: $M_{Rd} = 394.7 \text{ kNm} < M_{Ed} = 444.1 \text{ kNm}$ **verifica non soddisfatta**

8.6.3 Verifica massima azione di taglio

Di seguito le verifiche degli elementi strutturali maggiormente sollecitati suddivisi per tipologia di sezione.

Travi sulle spalle

Sollecitazioni massime

Combinazione	Taglio [kN]
F ₀ – Fondamentale	308,6
F ₁ – Sisma Y verticale	110,1

Proprietà materiali

Calcestruzzo		Acciaio	
E	f _{ck}	E _s	f _{yk}
28.000	14	200.000	215

Verifica sezione

Sezione	B/H [cm]	Staffe a Taglio			Taglio Resistente [kN]	
		Nr. bracci	diametro [mm]	passo [cm]	V _{Rsd}	V _{Rcd}
Appoggio su spalle	35/90	2	8	25	228,6	394,9
$V_{Rdu} = 228,6 \text{ kN} < V_{Ed} = 308,6 \text{ kN}$					verifica non soddisfatta	

8.6.4 Verifiche con carichi di II categoria

Le verifiche per i carichi di I categoria sono risultate non soddisfatte, si è quindi proceduto a disporre sul modello agli elementi finiti i carichi previsti per un ponte di II categoria

Per i ponti di II categoria si devono considerare sulla corsia n.1 un carico asse $Q_{1k} = 240$ kN ed un carico distribuito $q_{1k} = 7,20$ kN/m². Sulle altre corsie vanno applicati i carichi associati ai ponti di I Categoria, in particolare si sono considerate compatibilmente con la larghezza della carreggiata due corsie di carico, precisamente:

- 1^a corsia di carico:

Q_{1k} carico asse da 240 kN per un totale di	480 kN
q_{1k} carico distribuito pari a	7,20 kN/m ²
- 2^a corsia di carico:

Q_{1k} carico asse da 200 kN per un totale di	400 kN
q_{1k} carico distribuito pari a	2,50 kN/m ²
- q_{rk} carico su area rimanente della carreggiata 2,50 kN/m²

Di seguito si riportano le nuove sollecitazioni ricavate e le verifiche condotte sugli stessi elementi dei paragrafi precedenti.

Sollecitazioni massime

Combinazione	Momento Flettente [kNm]		Taglio [kN]
	Positivo	Negativo	
SLU II categoria	830,9	-393,4	282,2

Verifiche sezione

Sollecitazione	Sollecitante Modello	Resistente Sezione	Verifica
Momento positivo [kNm]	830,9	731,5	<u>verifica non soddisfatta</u>
Momento negativo [kNm]	-393,4	-394,7	<u>verifica soddisfatta</u>
Taglio [kN]	282,2	228,6	<u>verifica non soddisfatta</u>

8.6.5 Verifica azione sismica agli appoggi

Dopo aver eseguito l'analisi dinamica lineare con spettro di risposta si è effettuata l'analisi statica per calcolare le reazioni in direzione trasversale e longitudinale dovute all'azione sismica.

I valori totali di dette forze agli appoggi ripartiti sulle spalle e sulle pile sono riportati di seguito:

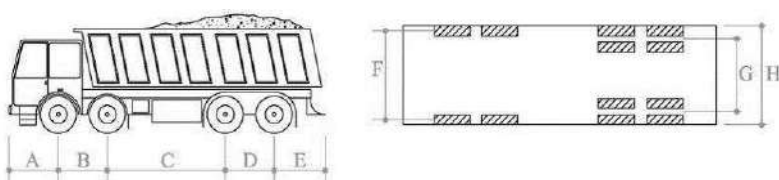
$$R_{Long} = 2.367 \text{ kN};$$

$$R_{Trasv} = 2.158 \text{ kN}.$$

8.7 Simulazione della prova di carico di verifica

Si conduce una verifica con carichi reali utilizzando 4 autocarri a 4 assi del peso totale ciascuno di 400 kN aventi le seguenti caratteristiche.

8.7.1 Carichi applicati

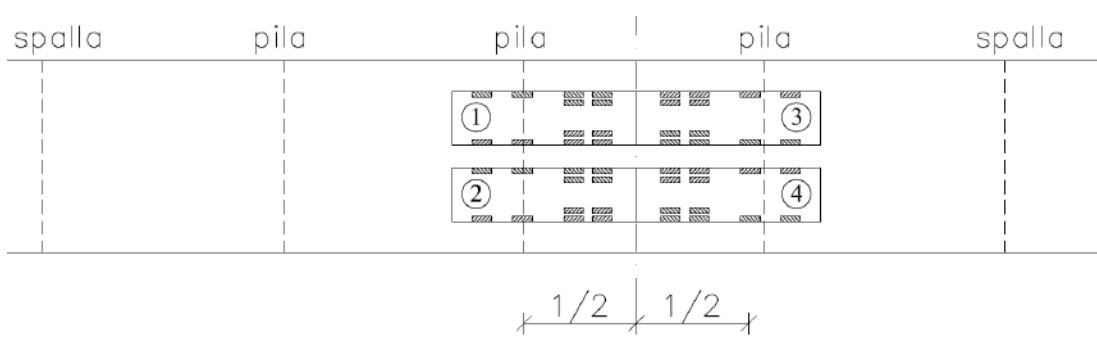
Camion a 4 assi											
											
N°	Peso [kN]			Distanze [m]							
	Ant.	Post.	Totale	A	B	C	D	E	F	G	H
1-4	130,0	260,0	400,0	1,40	1,90	2,40	1,35	1,60	2,10	1,85	2,50

8.7.2 Sollecitazioni e frecce massime

Nelle tabelle successive si riportano i valori delle massime sollecitazioni ottenute dal modello per ogni condizione di carico di prova e quelle ricavate per effetto dei carichi mobili previsti dalla Normativa.

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*.

Si evidenzia in grassetto la condizione di carico che si eseguirà nella prova di verifica ed i rispettivi valori delle frecce teoriche.

Prova di carico di verifica – 4 camion con gli assi posteriori in L/2							
							
Condizione di carico	Verifica M(+)		Verifica M(-)		Taglio		Freccia [mm] L/2 travi di bordo
	Msd [kNm]	Mrd [kNm]	Msd [kNm]	Mrd [kNm]	Tsd [kN]	Trd [kN]	
NTC 2008 I categoria	944	731	-444	-395	309	229	-
NTC 2008 II categoria	831		-393		282		-
Prova di carico Camion 1÷4	620		-322		213		1,75

9 PROVA DI CARICO STATICA DI VERIFICA

Nella giornata del 25 febbraio 2016 si è eseguita la prova di carico di verifica atta a simulare il massimo carico ammissibile definito con il modello agli elementi finiti e per valutare lo stato deformativo rilevato nelle diverse condizioni di carico.

9.1 Strumentazione

La rilevazione delle deformazioni è stata effettuata con:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni GS05;
- 14 sensori inclinometrici *Midori Precisions PM-5TH-Z1*;;
- 10 trasduttori di spostamento di tipo LVDT modello *Schaevitz E 1000 HQ*;
- software di elaborazione 4 EMME Service S.p.A..

Caratteristiche sensori inclinometrici:

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

Caratteristiche sensori differenziali:

- risoluzione $\pm 0,001$ mm;
- ripetibilità 98,5%;
- linearità 99,4%.



Postazioni di acquisizione

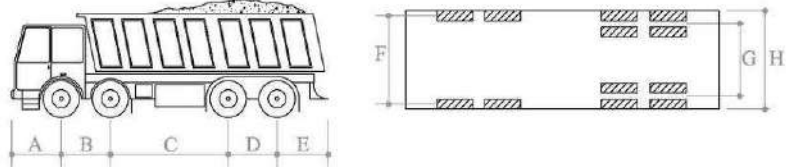


Sensori inclinometrici e differenziali

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.

9.2 Applicazione del carico

La sollecitazione è stata ottenuta tramite un autocarro a 3 assi ed uno a 4 e di seguito se ne riportano le caratteristiche.

											
Camion a 4 assi											
N°	Peso [kN]			Distanze [m]							
	Ant.	Post.	Totale	A	B	C	D	E	F	G	H
1	133,6	265,6	399,2	1,40	1,90	2,45	1,40	1,40	2,10	1,85	2,50
2	148,2	258,4	406,6	1,40	1,75	2,55	1,50	1,35	2,10	1,85	2,50
3	135,6	272,2	407,8	1,40	1,90	2,40	1,45	1,50	2,10	1,85	2,50
4	143,0	265,2	408,2	1,40	2,05	2,40	1,40	1,50	2,10	1,85	2,50

9.3 Descrizione della prova

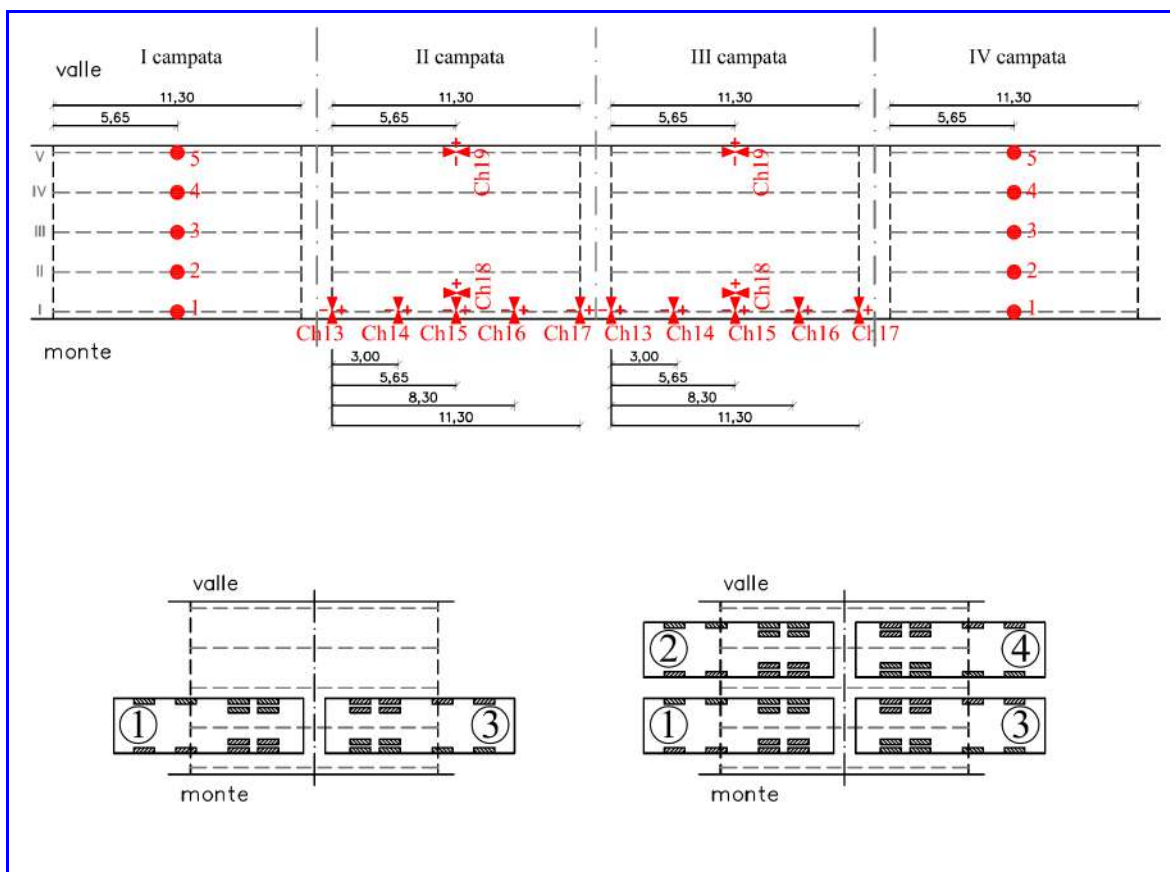
Sono stati eseguiti su tutte le campate diversi cicli di carico e scarico, mantenendo le posizioni sino alla stabilizzazione delle deformazioni; il carico è stato ottenuto posizionando i camion in differenti condizioni, come indicato negli schemi successivi.



Fasi di carico su I e II campata da sinistra



Fasi di carico su III e IV campata da sinistra



Disposizione dei sensori e fasi di carico

9.4 Risultati

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori delle deformazioni assolute rilevate per le campate esterne (I e IV da sinistra) e per quelle interne (II e III da sinistra).

CAMPATE ESTERNE

Ciclo	Fase	Deformazioni I Campata da sinistra [mm]				
		Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5
I	C1+C3	1,24	1,14	0,93	0,63	0,32
	C1+C3+C2+C4	1,61	1,83	1,96	1,93	1,76
	scarico	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
II	C1+C3	1,29	1,18	0,93	0,62	0,30
	C1+C3+C2+C4	1,63	1,82	1,92	1,86	1,67
	scarico	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02

Ciclo	Fase	Deformazioni IV Campata da sinistra [mm]				
		Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5
I	C1+C3	1,03	1,15	0,94	0,61	0,29
	C1+C3+C2+C4	1,35	1,81	1,93	1,83	1,59
	scarico	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
II	C1+C3	1,11	1,14	0,91	0,60	0,28
	C1+C3+C2+C4	1,39	1,80	1,90	1,79	1,56
	scarico	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00

CAMPATE INTERNE

Ciclo	Fase	Deformazioni II Campata da sinistra [mm]	
		Mezzeria lato monte	Mezzeria lato valle
I	C1+C3	0,89	0,23
	C1+C3+C2+C4	1,00	0,88
	scarico	0,02	0,01
II	C1+C3	0,94	0,26
	C1+C3+C2+C4	1,04	0,92
	scarico	0,03	0,02

Ciclo	Fase	Deformazioni III Campata da sinistra [mm]	
		Mezzeria lato monte	Mezzeria lato valle
I	C1+C3	0,83	0,25
	C1+C3+C2+C4	1,00	0,97
	scarico	0,01	0,02
II	C1+C3	0,88	0,30
	C1+C3+C2+C4	0,99	1,02
	scarico	0,03	0,01

10 STIMA DEI COSTI DI RISANAMENTO

Tenuto conto dello stato di degrado del ponte evidenziato dall'ispezione visiva ed analizzati i risultati del modello numerico, si ritiene necessario un intervento di risanamento sia dal punto di vista tecnologico dei materiali che da quello strutturale, quest'ultimo soprattutto nei riguardi delle travi risultate non verificate ai carichi previsti dalle NTC 2008 per ponti di I e II categoria.

Gli interventi, se ben indirizzati, consentiranno di attuare gli adeguamenti sismici senza eccessivo incremento dei costi totali.

Per il dettaglio dei costi di risanamento si rimanda agli elaborati costituenti il progetto.

11 CONSIDERAZIONI FINALI

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

- L'ispezione visiva del ponte ha evidenziato 4 Non Conformità, costituite dal degrado della zona degli appoggi delle travi sulle spalle e sulle pile con riduzione della superficie di appoggio (NC1 e NC2) e dalla corrosione con riduzione di sezione delle armature e delle staffe delle travi di bordo (NC3 e NC4).
- Si consiglia di eseguire 1 Azione Preventiva costituita dalla verifica di un possibile scalzamento alla base delle pile nel periodo in cui l'alveo presenterà delle condizioni di magra.
- I rilievi eseguiti con il Pacometro hanno evidenziato un copriferro medio di 35 mm sulle travi e di 15 mm sui traversi e sulla soletta.
- I risultati delle indagini di Pull-out eseguite sugli elementi strutturali hanno fornito valori medi per la resistenza a compressione del calcestruzzo di spalle e pile e valori elevati per travi, traversi e soletta, con altrettanti grandi valori della profondità di carbonatazione, spesso maggiore di 40 mm.
- I risultati delle indagini sui materiali hanno fornito valori medio bassi per la resistenza del calcestruzzo su tutti gli elementi strutturali; i valori minimi sono stati rilevati sulle carote estratte dal pulvino, dalla spalla sinistra e dalla III trave da monte della campata laterale sinistra, con resistenze rispettivamente di 10,3 MPa, 12,4 MPa e 13,0 MPa.
- I valori bassi di resistenza del calcestruzzo sul pulvino sono poco significativi, in quanto 1 carota non è rappresentativa di una sufficiente e necessaria media di prelievi, che si consiglia di estendere.
- Il calcestruzzo evidenzia valori di carbonatazione elevati su tutti gli elementi strutturali indagati, con un massimo di 120 mm rilevato sulle carote estratte dal pulvino e dalla spalla sinistra. Lo spessore massimo della carbonatazione rilevato sulle carote estratte dalle travi è sempre maggiore del copriferro misurato sulle stesse.
- Le indagini ultrasoniche eseguite su spalle, travi e traversi hanno evidenziato velocità medie compatibili con quelle di calcestruzzi di media qualità ($3.000 \text{ m/s} \leq V \leq 4.000 \text{ m/s}$); i valori medi di velocità riscontrati su pile e soletta sono invece compatibili con quelle di calcestruzzi di cattiva qualità ($V < 3.000 \text{ m/s}$).
- La caratterizzazione dinamica sperimentale ha evidenziato un modo verticale flessionale di 13,2 Hz ed un modo verticale torsionale di 16,6 Hz.
- Le prove di carico hanno mostrato comportamenti elastici e ripetibili.

- 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 Stati Limite Ultimi.

Confronto tra frequenze proprie teoriche e sperimentali

MODO	DESCRIZIONE	FREQUENZA [Hz]	
		Sperimentale	Teorico
I	Verticale flessionale	13,2	13,2
II	Verticale torsionale	16,6	16,6

Confronto tra frecce teoriche e sperimentali – Campate esterne

Condizione di carico	CAMPATA	DEFORMAZIONI TRAVI [mm]	
		Trave bordo monte	Trave bordo valle
<i>Prova di Analisi</i> (400 kN a monte + 330 kN a valle)	I da sinistra	1,15	1,15
	IV da sinistra	1,11	1,00
	Teorica-modello	1,28	1,17
<i>Prova di Verifica</i> 4 camion a 4 assi	I da sinistra	1,63	1,76
	IV da sinistra	1,39	1,59
	Teorica-modello	1,75	1,75

Confronto tra frecce teoriche e sperimentali – Campate interne

Condizione di carico	CAMPATA	DEFORMAZIONI IMPALCATO* [mm]	
		Mezzeria bordo monte	Mezzeria bordo valle
<i>Prova di Analisi</i> (400 kN a monte + 330 kN a valle)	II da sinistra	0,77	0,70
	III da sinistra	0,83	0,70
	Teorica-modello	0,86	0,74
<i>Prova di Verifica</i> 4 camion a 4 assi	II da sinistra	1,04	0,92
	III da sinistra	1,00	1,02
	Teorica-modello	1,07	1,07

- Frecce in corrispondenza del cordolo marciapiede

Verifica SLU – Resistenza a flessione travi

Combinazione	Momenti [kNm]		
	Sollecitante $M_{s,d}$	Resistente $M_{r,d}$	Verifica
Fondamentale NTC 2008 I categoria	935	731	✗
Fondamentale NTC 2008 II categoria	831		✗
4 camion con assi posteriori in L/2	620		✓

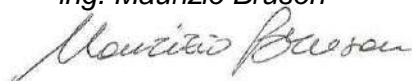
Verifica SLU – Resistenza a taglio travi

Combinazione	Taglio [kNm]		
	Sollecitante $T_{s,d}$	Resistente $T_{r,d}$	Verifica
Fondamentale NTC 2008 I categoria	309	229	✗
Fondamentale NTC 2008 II categoria	282		✗
4 camion con assi posteriori in L/2	213		✓

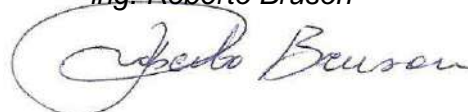
- Per la combinazione fondamentale agli Stati Limite Ultimi per i carichi previsti dalle NTC 2008 per i ponti di I e II categoria, le verifiche condotte sulle travi più sollecitate nei riguardi della resistenza a flessione e taglio non sono soddisfatte.
- Le verifiche condotte sulle travi nei confronti della resistenza ultima di flessione e taglio sono soddisfatte per un carico massimo di 1.600 kN.
- Per la combinazione agli Stati Limite Ultimi connessi all'azione sismica eseguita mediante analisi dinamica lineare con spettri di risposta, i valori massimi delle forze in direzione trasversale e longitudinale si rilevano sugli appoggi e sono pari a:
 $R_{Long} = 2.367 \text{ kN};$
 $R_{Trasv} = 2.158 \text{ kN}.$
 Le suddette forze orizzontali non possono essere assorbite dalla tipologia di vincolo rigido esistente.

Bolzano, 1 marzo 2016

I relatori
ing. Maurizio Bruson



Relazione revisionata da
ing. Roberto Bruson



ing. Federico Corazzola



DICHIARAZIONE DI IDONEITÀ

02.A.016 P. MONTONE - VIA RAVEGNANA

Il sottoscritto *Dott. ing. Settimo Martinello*, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Bolzano con il n. 623, è stato incaricato dal Comune di Ravenna di valutare l'idoneità della struttura in oggetto.

Analizzati i risultati delle elaborazioni eseguite dalla Società 4 EMME Service S.p.A., **visto che:**

- a seguito dell'Ispezione Visiva Primaria, il manufatto ha evidenziato 4 Non Conformità, costituite dal degrado della zona degli appoggi delle travi sulle spalle e sulle pile con riduzione della superficie di appoggio (NC1 e NC2) e dalla corrosione con riduzione di sezione delle armature e delle staffe delle travi di bordo (NC3 e NC4) su tutte le campate;
- i risultati delle indagini sui materiali hanno fornito valori medio bassi per la resistenza del calcestruzzo su tutti gli elementi strutturali ed i valori minimi sono stati rilevati sulle carote estratte dal pulvino, dalla spalla sinistra e dalla III trave da monte della campata laterale sinistra, con resistenze rispettivamente di 10,3 MPa, 12,4 MPa e 13,0 MPa, inferiori alla resistenza minima del calcestruzzo C16/20 prevista dalla tabella 4.1.II del D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni;

Tabella 4.1.II – Impiego delle diverse classi di resistenza

STRUTTURE DI DESTINAZIONE	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA
Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11)	C8/10
Per strutture semplicemente armate	C16/20
Per strutture precomprese	C28/35

- il calcestruzzo evidenzia valori di carbonatazione elevati su tutti gli elementi strutturali indagati, con un massimo di 120 mm rilevato sulle carote estratte dal pulvino e dalla spalla sinistra e che lo spessore massimo della carbonatazione rilevato sulle carote estratte dalle travi è sempre maggiore del copriferro misurato sulle stesse;
- per la combinazione fondamentale agli Stati Limite Ultimi per i carichi di I e II categoria previsti dalle NTC 2008, le verifiche condotte sulle travi più sollecitate nei riguardi della resistenza a taglio e flessione non sono soddisfatte;
- per la combinazione agli Stati Limite Ultimi connessi all'azione sismica eseguita mediante analisi dinamica lineare con spettri di risposta, i valori massimi delle forze risultanti non possono essere assorbiti dalla tipologia di vincolo rigido esistente;

DICHIARA

il ponte 02.A.016 P. MONTONE - VIA RAVEGNANA **non idoneo a sopportare il carico previsto per i ponti di I e II categoria e vulnerabile dal punto di vista sismico** ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni.

Tenendo conto dei risultati sperimentali e dei calcoli teorici specifici, **visto che:**

- i valori delle frecce, la ripetibilità e l'esigua deformazione residua sotto il carico di prova pari a 1.600 kN su ogni campata;
- 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;
- i valori di momento e taglio sollecitanti ricavati dal modello in corrispondenza delle travi più sollecitate, per effetto di un carico di 1.600 kN, sono inferiori alle rispettive resistenze ultime della sezione;

CERTIFICA LA TRANSITABILITÀ

ai mezzi con un carico complessivo massimo di 400 kN

La presente dichiarazione va intesa scadente a 3 anni dalla data odierna, purché sia eseguita con frequenza semestrale, o dopo eventi eccezionali, l'Ispezione visiva successiva secondo il Metodo della Valutazione Numerica da parte di personale specializzato, al fine di accertare eventuali evoluzioni dello stato di degrado, che allo stato attuale è misurato con un Indice di Difettosità Relativa pari a $Dr = 29$.

Oltre agli interventi tecnologici necessari previsti al capitolo 10, si ritiene necessario prevedere un intervento strutturale che ripristini l'isostaticità delle campate mediante il taglio dei cordoli sui due lati e, tenuto conto della situazione strutturale delle travi, consenta un adeguamento alle norme in vigore; tale intervento, se ben indirizzato potrà essere sfruttato anche per attuare gli adeguamenti sismici necessari senza eccessivo incremento dei costi totali.

Ad avvenuta esecuzione dei lavori dovrà essere data comunicazione al sottoscritto che dopo l'esecuzione di una prova di carico con esiti positivi potrà estendere a dieci anni la presente certificazione.

Bolzano, 1 marzo 2016

dott. ing. Settimo Martinello

