DETERMINAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL PONTE MARGHERITA S.P. 330 km 82+400

RELAZIONE DI ANALISI SPERIMENTALE
Valutazione della ispezione visiva e delle prove di carico

Commissionata da: Associazione Osservatorio ponte Margherita

1. Premessa

Sulla base dell'incarico ricevuto dalla vostra spettabile Associazione, con la presente, provvedo ad analizzare i risultati dell'Ispezione visiva con il Metodo della Valutazione Numerica dello stato di degrado e l'esito delle prove di carico eseguite sul ponte Margherita dalla società 4 Emme Service Spa.

Lo scopo della presente valutazione è quello di individuare la possibilità del transito di mezzi leggeri ed emettere un Certificato di Idoneità statico per i carichi consentiti.

Va sottolineato che quanto a seguito descritto si basa sulla specifica richiesta da parte della vostra Associazione di procedere esclusivamente per via sperimentale.

Come da vostra richiesta provvederò inoltre a rispondere ai seguenti quesiti:

- individuare il processo diagnostico necessario per una precisa conoscenza del comportamento statico e dinamico della struttura, allo scopo di individuare gli interventi necessari per l'adeguamento;
- fornire delle indicazioni, anche solo di massima, sugli interventi necessari a riportare il ponte alle condizioni idonee ad affrontare i carichi previsti a norma.

2. Descrizione del ponte

L'opera in oggetto è un ponte costituito da 8 campate in calcestruzzo armato di cui 6 di attraversamento fluviale e altre 2 per il congiungimento alle spalle, per una lunghezza complessiva di circa 140 m.

Le campate sono nominate: "campata di accesso" la prima dalla spalla 1, a seguire le arcate da 1 a 6 per chiudere il ponte con la campata di uscita sulla spalla 2.

La spalla 1 è quella relativa al lato Dragoni mentre la spalla 2 e relativa al lato Alife.

Foto 1 Prospetto di valle

Le luci nette, interno spalla, hanno le seguenti dimensioni, partendo dal lato Dragoni: 4,5 m; 19,0 m; 19,9 m; 19,75 m; 19,1 m; 19,1 m; 19,7 m; 4,9. Le arcate 2 e 5 sono interrotte da un giunto di dilatazione con un tratto a sbalzo da una parte di circa 15 m e dall'altra di 5 m.

L'impalcato è sostenuto da 5 travi che nella zona vicino alle spalle ed alle pile si dividono in superiori ed inferiori. La trave 1 (a valle) è posta a sbalzo al di fuori della sezione delle pile.

L'impalcato ha una larghezza complessiva di 12,9 m di cui 9,9 m di carreggiata con due banchine laterali.

Sullo sbalzo di valle è presente un canale, non impermeabilizzato, dove passa un tubo metallico di distribuzione dell'acqua potabile. Il canale ha dimensioni 50 x 40 cm ed è coperto da una griglia metallica.

Il ponte è stato costruito dall'ANAS nel 1953.

Verso gli anni 2000 (data non confermata) ha subito degli interventi di rinforzo sulle travi delle campate 5 e 6.

Foto 2 Trave 1 a sbalzo

3. L'Ispezione visiva

Nelle giornate del 12 e 13 dicembre 2016 è stata condotta l'ispezione visiva col Metodo della Valutazione Numerica dello stato di degrado. La relazione specifica è allegata alla presente.

Di tutte le importanti segnalazioni riportate, fondamentali per lo studio del progetto di risanamento e/o di adeguamento, emergono alcune difettologie "potenzialmente pericolose per la statica" che saranno evidenziate a seguito.

In primo luogo viene segnalato uno stato di inizio corrosione delle armature degli appoggi sotto i giunti, in particolare quello posto sulla campata 2. L'inizio della corrosione delle armature è conseguente all'espulsione del copriferro derivante dal processo di carbonatazione messo in evidenza dai prelievi effettuati nelle indagini eseguite precedentemente.

Foto 3 Giunto e appoggi in campata 2

Tale processo è al suo stato iniziale ma, vista la posizione direttamente sotto il giunto, e quindi soggetta ai dilavamenti, ma anche solo per l'umidità presente nell'area fluviale, avrà un processo di penetrazione che, se non si interverrà in tempi brevi, provocherà una riduzione della sezione d'armatura resistente e di conseguenza metterà a repentaglio la fondamentale capacità resistente degli appoggi.

Altre situazioni di espulsione del copriferro, e di una prima riduzione di sezione dovuta alla corrosione, sono state ben evidenziate nella relazione specifica, in particolare lungo gli intradossi delle travi.
Fa specie che una grossa parte di queste evidenze si manifesti proprio sulla parte del materiale di irrobustimento delle travi attuata negli anni 2000 sulle campate 5 e 6.

Foto 4 Fessura elemento inferiore trave 2 campata 2

<u>La situazione più drastica è evidenziata sull'elemento a puntone, lato pila 1, della trave 2 della campata 2</u> (definito con T2-1), ed anche sulla trave 1 (quella a sbalzo). La trave 2 mostra una seria fessurazione passante, circa a 1/3 della lunghezza, che attraversa diagonalmente tutta la sezione.

Dopo aver demolito i bordi della fessurazione per evidenziarne la dimensione e la forma, si è rilevata una fessurazione a V con dimensione massima di 5 mm. Lo stesso si può osservare sulla trave 1 anche se con dimensioni nettamente inferiori.

Non se ne conosce la data di instaurazione in quanto fino ad ora non erano state eseguite delle ispezioni adeguate o perlomeno non sono state messe a disposizione.

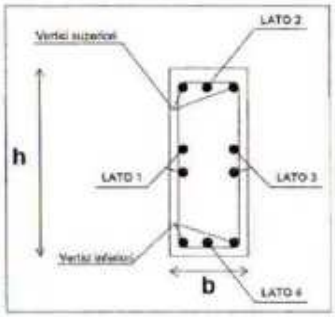
Lo schema statico con la trave 1 a sbalzo è assolutamente inusuale, porta a pensare che sia stata una scelta in fase costruttiva, non prevista in progetto: osservando la Foto 2, si nota che sulla trave 2 gravano, con un effetto flessionale e torsionale, i carichi sopportati dalla trave 1 oltre a quelli del bancale.

La trave 2 non appare diversa dimensionalmente dalle altre e, se si dovessero prendere per buone le rilevazioni effettuate sulla quantità d'armatura (vedi Fig. 1), risulterebbero, molto probabilmente, inadeguate. Nella tabella si indica che la trave inferiore, sul lato 2, ha un solo ferro Ø 30 in centro contro i 4 del lato 4 Fatto molto anomalo e da verificare in quanto è la parte superiore, lato 2 la parte tesa, quella che necessita di armatura.

Anche le staffe risultano veramente esigue conoscendo il ruolo torsionale della trave 4.

Pacometriche TRAVI

N.	Sigla	impalcato	elemento	misura [cm] b	x	h	FERRI vertici inferiori	vertici superiori	lato 1	lato 2	lato 3	lato 4	staffe app. 1 (cm)	mezz. (cm)	app. 2 (cm)	NOTE
37	P37	2	trave SUPERIORE	VAR (tra35-60)	x	85	2ϕ30	2ϕ30	1ϕ30		1ϕ30	4ϕ30	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	
38	P38	2	trave INFERIORE	VAR (tra30-60)	x	VAR (tra80-120)	2ϕ30	2ϕ30	2ϕ30	1ϕ30	2ϕ30	4ϕ30	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	
39	P39	2	trave IMPALCATO	35	x	VAR (tra130-185)	2ϕ30	2ϕ30	2ϕ30		2ϕ30	3ϕ30	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	
40	P40	3	trave INFERIORE	VAR (tra35-60)	x	VAR (tra80-120)	2ϕ30	2ϕ30	2ϕ30	1ϕ30	2ϕ30	3ϕ30	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	
41	P41	3	trave SUPERIORE	VAR (tra35-60)	x	85	2ϕ30	2ϕ30	1ϕ30		1ϕ30	4ϕ30	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	
42	P42	3	trave IMPALCATO	35	x	VAR (tra130-185)	2ϕ30	2ϕ30	2ϕ30		2ϕ30	3ϕ30	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	ϕ10 / 20	



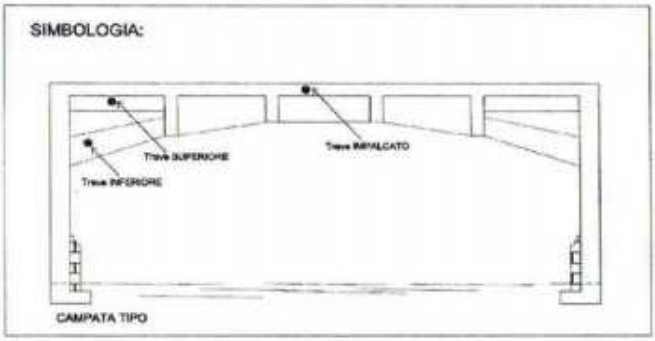


Fig. 1 Rilievo armature Tecnolab

La trave 2 è soggetta ad una sollecitazione abbondantemente superiore a tutte le altre, abbondanza di sollecitazione che probabilmente non era considerata nel progetto originale.

Il fenomeno fessurativo degli elementi puntone, lato pila 1, delle travi 1 e 2 della campata 2, si evidenzia ulteriormente con una deformazione-rotazione dell'impalcato sul lato a valle proprio in corrispondenza del giunto. Fatto che si può osservare anche visivamente osservando l'allineamento orizzontale del guardrail. Rimane in ogni modo ancora una discreta capacità portante delle travi 1 e 2 della campata 2, come dimostrato dal fatto concreto di messa in opera del By-bridge durante i test eseguiti nel gennaio 2016.

Foto 5 By-bridge sul giunto campata 2 – gennaio 2016

<u>Il fenomeno della fessurazione della trave inferiore non è presente sulle travi 3, 4, 5. Questo è un fatto fondamentale in quanto indica che queste travi non hanno subito, nonostante gli anni e gli innumerevoli cicli di carico, il superamento dei limiti elastici.</u>

Queste osservazioni e considerazioni hanno comportato la decisione di eseguire le prove di carico solo sulle tre travi “sane” e di conseguenza comporterà una limitazione di percorribilità alla sola corsia di monte.

L‘insieme delle altre risultanze dell’Ispezione rientra in uno stato di degrado usuale per una struttura costruita nel 1953. In particolare è stata evidenziata, nelle indagini precedenti, la profondità della carbonatazione che indica la perdita delle proprietà protettive delle armature dovute al copriferro. Si può quindi affermare che siamo arrivati al limite della vita utile, in quanto, essendo l’armatura il principale elemento strutturale che determina la capacità portante, ed essendo iniziato il fenomeno della corrosione, non rimane molto tempo a disposizione per prevedere un intervento di ripristino che consenta di allungare la vita utile del ponte.

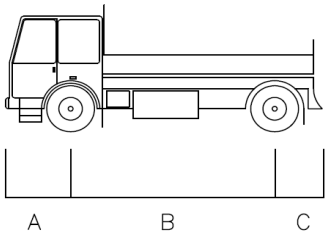
4. Risultanze delle prove di carico

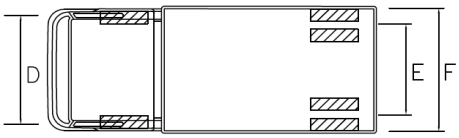
Come indicato precedentemente si è ritenuto di operare con i carichi esclusivamente sulla corsia di monte che è sostenuta dalle travi 3, 4, 5.

Essendo l’approccio richiesto esclusivamente sperimentale, in assenza quindi di valori teorici di confronto, si è proceduto inizialmente con carichi da 5 t e da 10 t per consentire una valutazione dei parametri di confronto elastico: Ripetibilità, Linearità, Residuo, per poi arrivare, nelle condizioni di massimo carico, a 2 autocarri da 20 t disposti singolarmente nelle diverse campate, in modo da provocare, nella loro combinazione, le condizioni di massimo Momento positivo, massimo Momento negativo e massimo Taglio, nella condizione di carico posizionato nella mezzeria delle campate.

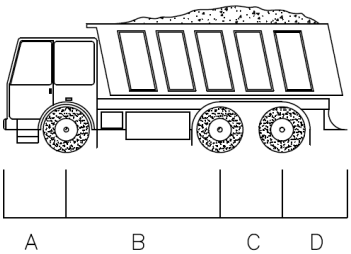
Le prove di carico sono state eseguite nella giornata del 14 dicembre 2016.

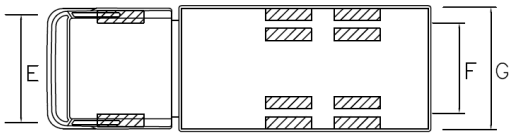
CAMION A DUE ASSI									
N°	Peso [kN]			A	B	C	D	E	F
	Anteriore	Posteriore	Totale	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	18,0	32,0	**50,0**	0,80	3,60	2,40	2,10	1,80	2,10
2	30,0	70,6	**100,6**	1,20	3,66	1,90	2,30	1,80	2,30





CAMION A TRE ASSI										
N°	Peso [kN]			A	B	C	D	E	F	G
	Anteriore	Posteriore	Totale	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
3	71,0	129,8	**200,8**	1,35	4,15	1,35	1,45	2,10	1,80	2,50
4	75,0	126,0	**201,0**	1,35	4,60	1,35	1,55	2,10	1,80	2,50





Nota: Il peso dei singoli mezzi è stato verificato personalmente presso la pesa nel Comune di Dragoni.

I carichi sono distribuiti su più assi e pertanto si deve procedere a calcolare il loro effetto confrontando i Momenti prodotti.

Nella figura 2 sono rappresentati Momento e Taglio provocato dal mezzo da 5 t rispetto a quello da 20 t. Il Momento raggiunge il 27% di quello di confronto ed il Taglio il 26%.

Le curve rappresentate nel grafico mostrano l'interpolazione dei punti di Momento e di Taglio massimo provocati dal treno di carico nel suo avanzamento lungo la luce. E' un confronto relativo, in percentuale, indipendente dall'effetto dei Momenti negativi, rappresentativi dei vincoli, che in ogni caso non farebbero altro che traslare le curve del Momento verso l'alto.

La figura 3 mostra il confronto del carico da 10 t rispetto a quello da 20 t. Il Momento raggiunge il 53% di quello di confronto ed il Taglio il 52%.

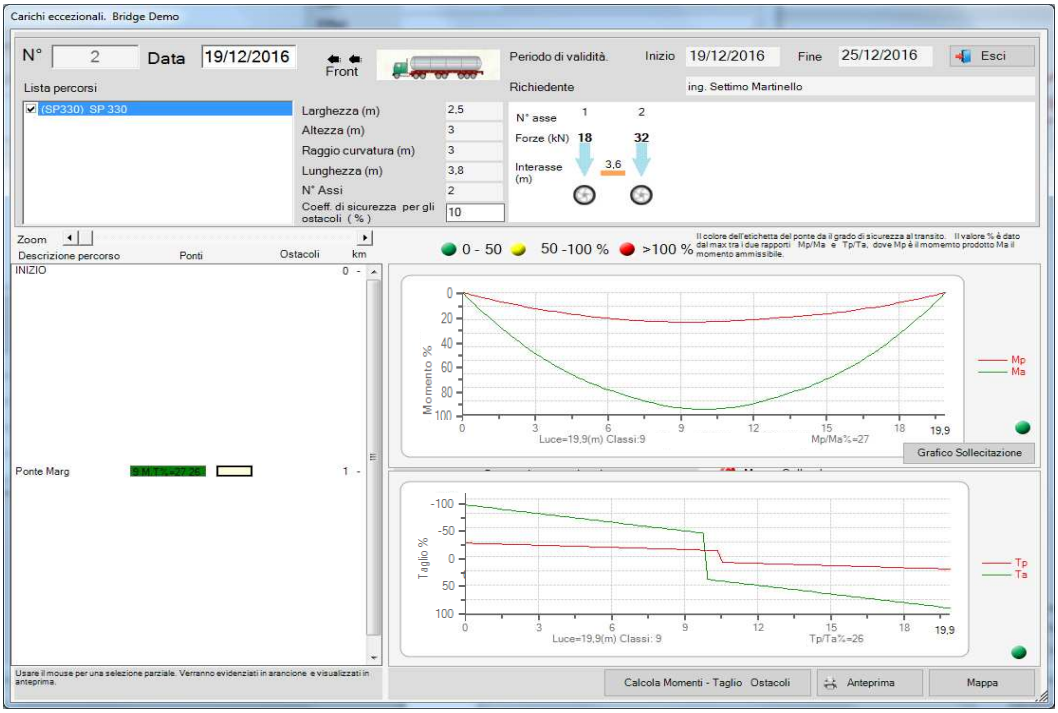


Fig. 2 Confronto autocarro da 50 kN con quello da 200 kN

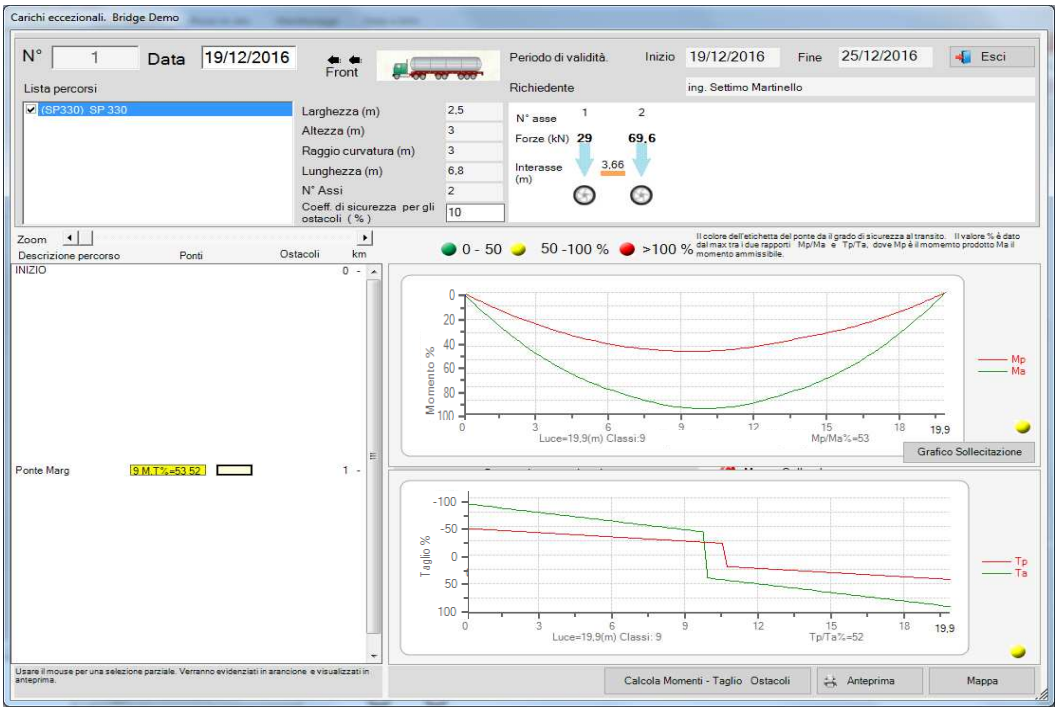


Fig. 3 Confronto autocarro da 100 kN con quello da 200 kN

Sono state eseguite 4 fasi di carico, con diverse posizioni dei mezzi, per valutare tutte le combinazioni possibili di Momento, ognuna ripetuta due volte. Le varie fasi di carico sono state così codificate:

- fase A camion da 5 t posto sulle campate 1, 2, 3
- fase B camion da 10 t posto sulle campate 1, 2, 3, 4, 5, 6
- fase C camion da 20 t posto sulle campate 1, 2, 3, 4, 5, 6
- fase D 2 camion da 20 t posti nelle campate 1-2, 1-3, 2-3, 5-6, 4-6, 4-5.

Sono state rilevate, in tempo reale, le deformate di bordo del lato di monte di tre campate contemporaneamente, 1-2-3 e 4-5-6, attraverso il metodo delle tangenti con l'uso di 15 sensori inclinometrici posti all'estradosso sulla linea del cordolo. Sono state inoltre rilevate le frecce della mezzeria della trave 3 delle diverse campate attraverso l'uso di trasduttori differenziali posizionati su aste telescopiche poste sotto il ponte.

Le immagini a seguito riportano il posizionamento dei sensori inclinometrici posti sulle campate 1, 2, 3 e la fase di carico D-1-3.

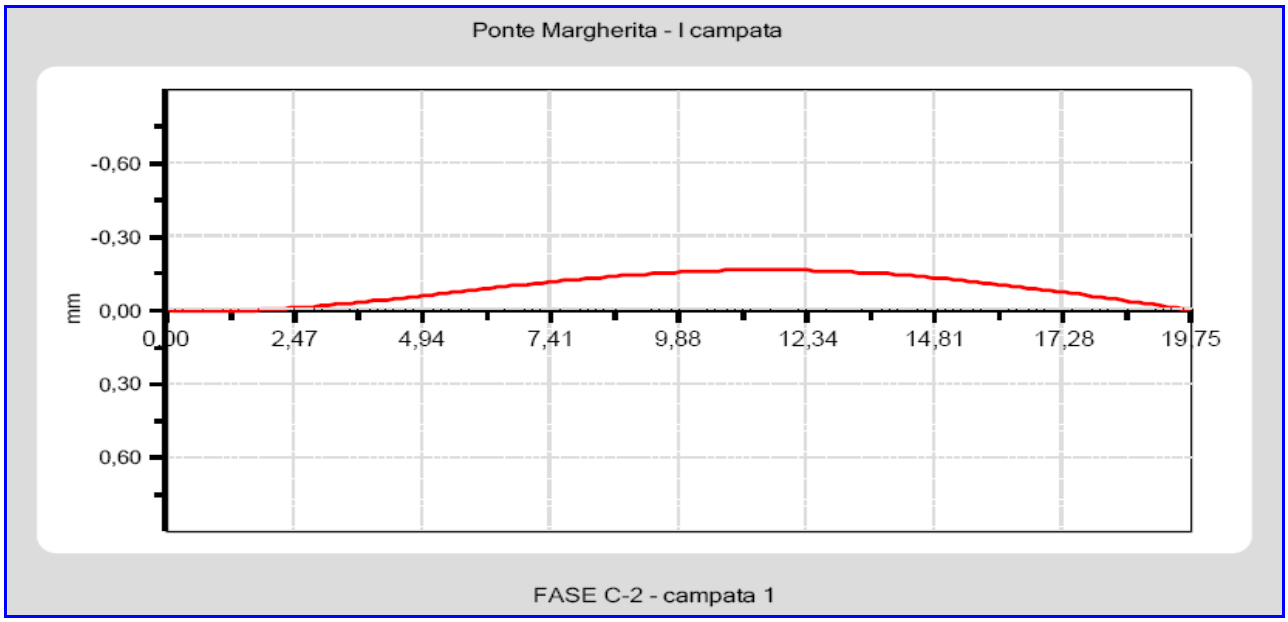
Foto 6 Sensori inclinometrici sulla campata 2 e 3

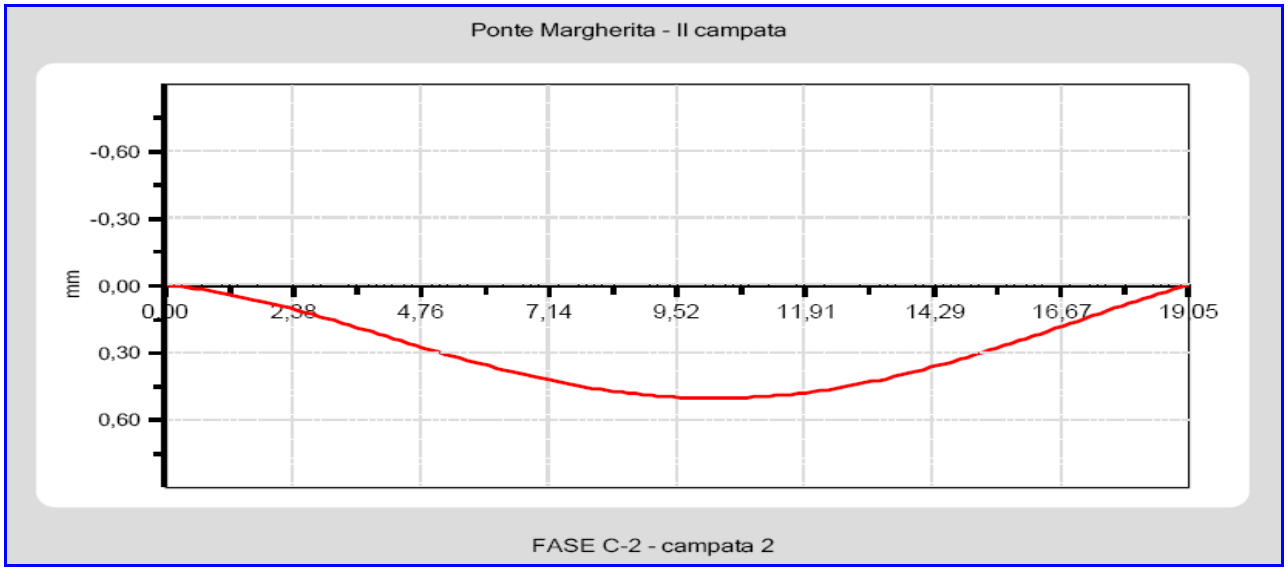
Foto 7 Elaborazione della deformata

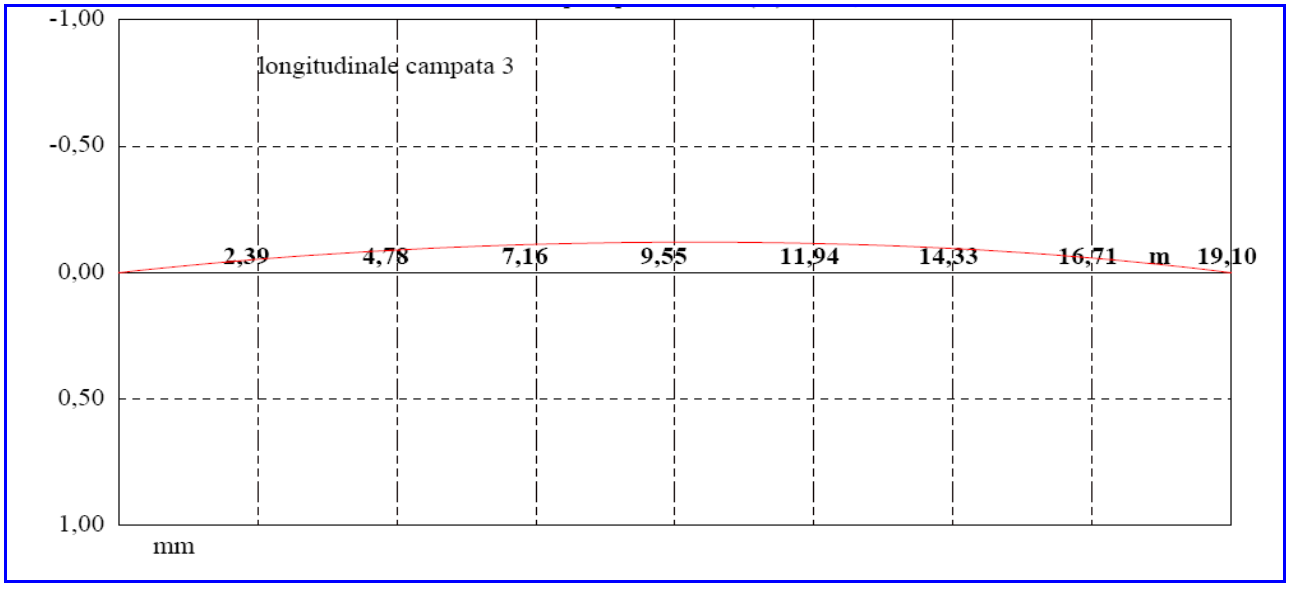
Foto 8 Fase di carico D-1-3

Foto 9 Fase di carico D-4-5

Quale esempio di acquisizione dati si riportano alcuni elaborati che rappresentano le deformate delle campate 1, 2 e 3 durante la fase C-2 che vede il camion da 20 t posizionato sulla campata 2.



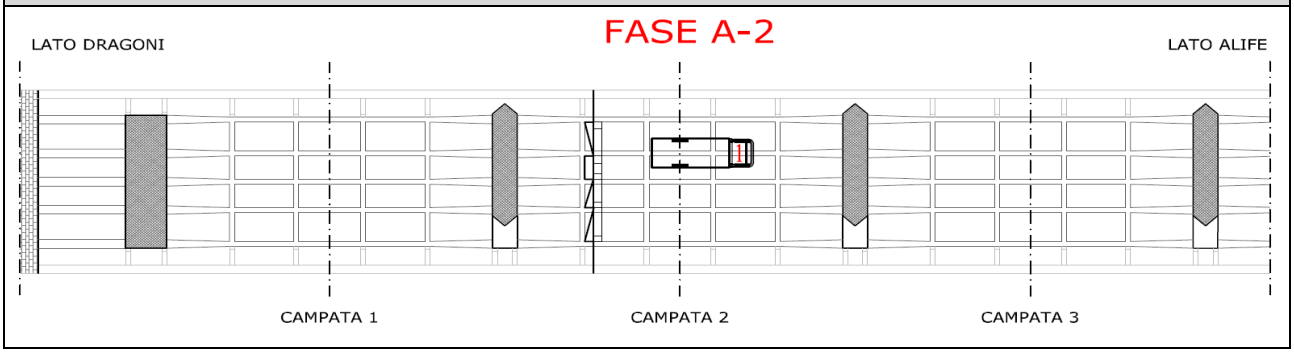




Di seguito si riportano le frecce rilevate nelle Fasi A-2, B-2, C-2 per evidenziare la proporzionalità delle deformazioni nella condizione di maggiore sollecitazione della campate 2, quella col giunto.

Modalità di carico fase A-2

CAMION 1 – 5 t



Posizione di elaborazione della freccia

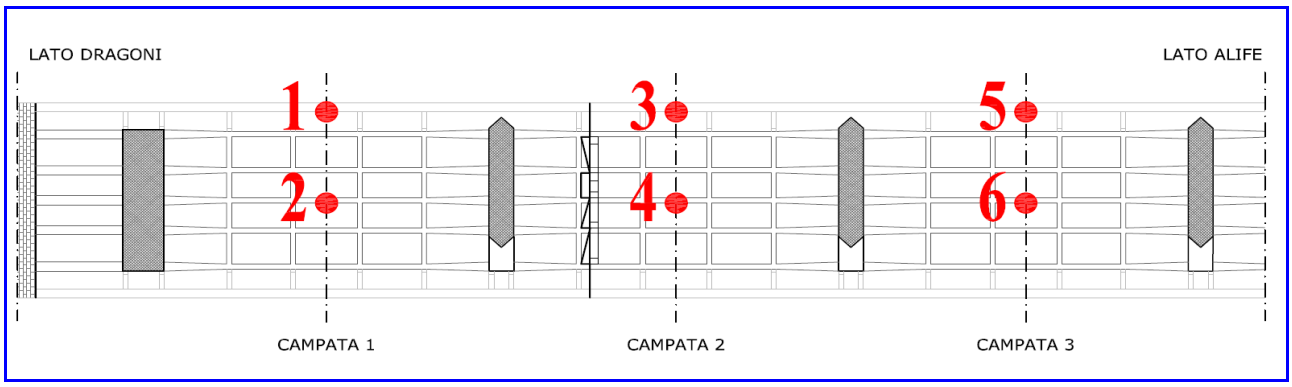
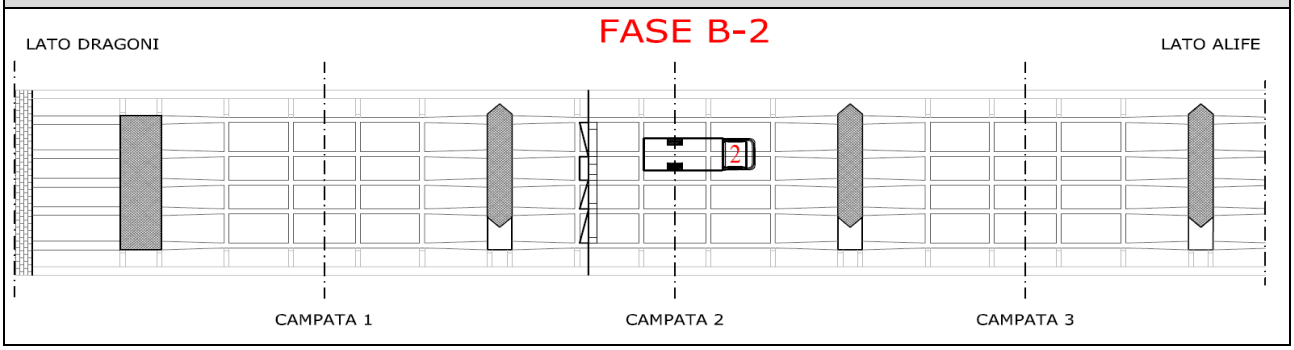


Tabella delle frecce in mezzeria

Frecce [mm]								
Ciclo	Carico	Fase	Campata 1		Campata 2		Campata 3	
			1	2	3	4	5	6
I	5 t	A-1	0,07	0,08	-0,02	-0,01	0,00	0,00
		A-2	**-0,04**	**-0,05**	**0,14**	**0,15**	**-0,10**	**-0,11**
		A-3	0,00	0,00	-0,10	-0,11	0,11	0,11
		Scarico	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
II	5 t	A-1	0,07	0,07	-0,02	-0,02	0,00	0,00
		A-2	**-0,03**	**-0,05**	**0,14**	**0,15**	**-0,10**	**-0,12**
		A-3	0,00	0,00	-0,13	-0,12	0,11	0,12
		Scarico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

Modalità di carico fase B-2

CAMION 2 – 10 t



Posizione di elaborazione della freccia

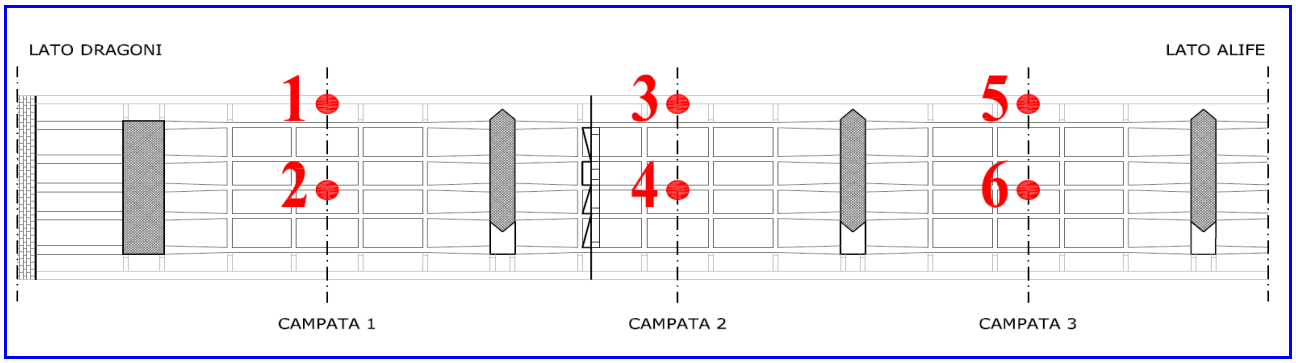
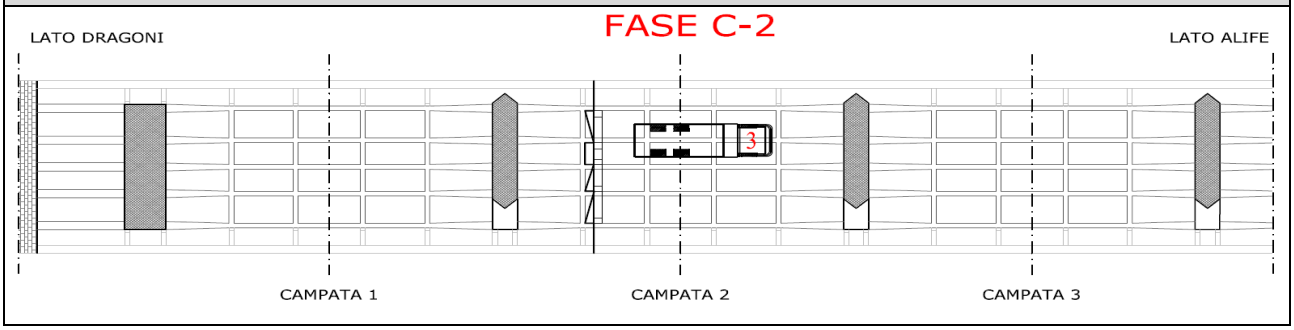


Tabella delle frecce in mezzeria

Frecce [mm]								
Ciclo	Carico	Fase	Campata 1		Campata 2		Campata 3	
			1	2	3	4	5	6
I	10 t	B-1	0,13	0,14	-0,05	-0,05	0,00	0,00
		B-2	**-0,06**	**-0,07**	**0,26**	**0,28**	**-0,20**	**-0,18**
		B-3	0,00	-0,02	-0,14	-0,16	0,22	0,25
		Scarico	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,02
II	10 t	B-1	0,12	0,16	-0,08	-0,09	0,00	0,00
		B-2	**0,03**	**-0,07**	**0,25**	**0,27**	**-0,17**	**-0,18**
		B-3	0,00	-0,01	-0,15	-0,15	0,22	0,23
		Scarico	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02

Modalità di carico fase C-2

CAMION 3 – 20 t



Posizione di elaborazione della freccia

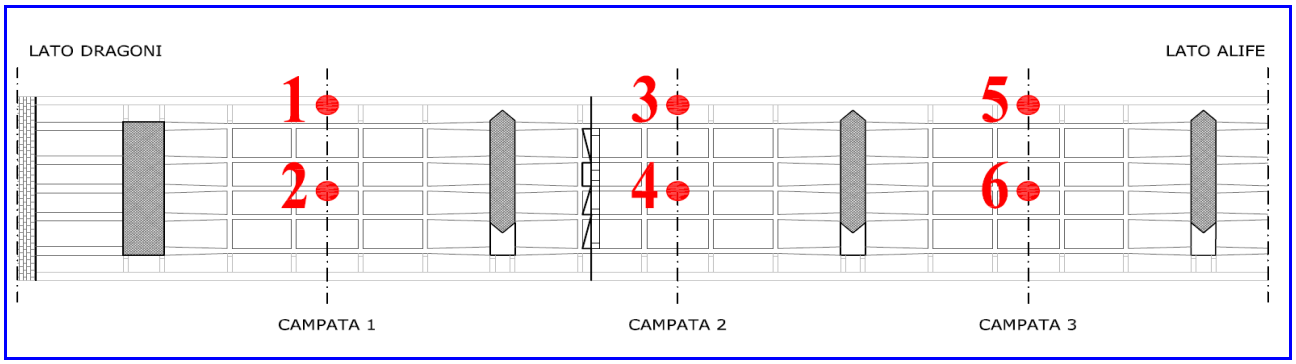
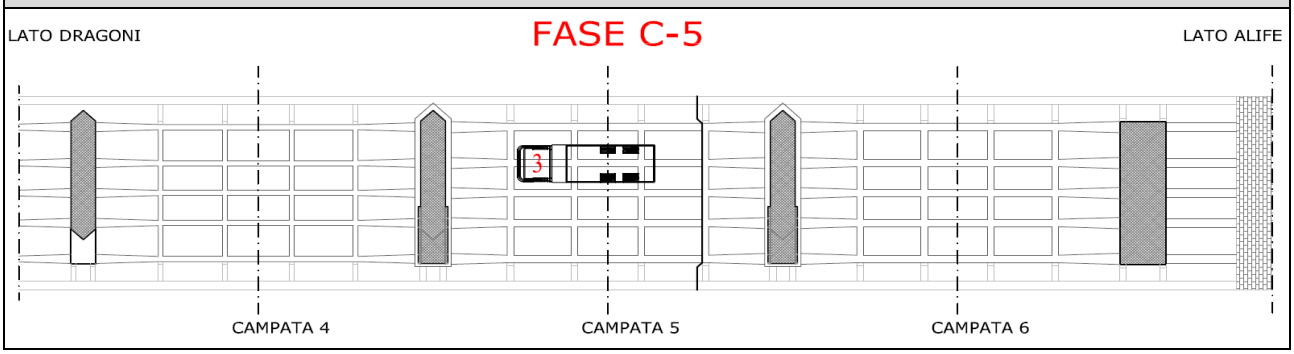


Tabella delle frecce in mezzeria

Frecce [mm]								
Ciclo	Carico	Fase	Campata 1		Campata 2		Campata 3	
			1	2	3	4	5	6
I	20 t	C-1	0,27	0,31	-0,10	-0,12	0,00	0,00
		C-2	**-0,15**	**-0,15**	**0,50**	**0,53**	**-0,18**	**-0,16**
		C-3	0,00	0,01	-0,20	-0,21	0,31	0,33
		Scarico	0,00	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00
II	20 t	C-1	0,28	0,31	-0,11	-0,12	0,00	0,00
		C-2	**-0,14**	**-0,12**	**0,49**	**0,51**	**-0,16**	**-0,15**
		C-3	0,00	0,00	-0,24	-0,23	0,32	0,34
		Scarico	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01

Modalità di carico fase C-5

CAMION 3 – 20 t



Posizione di elaborazione della freccia

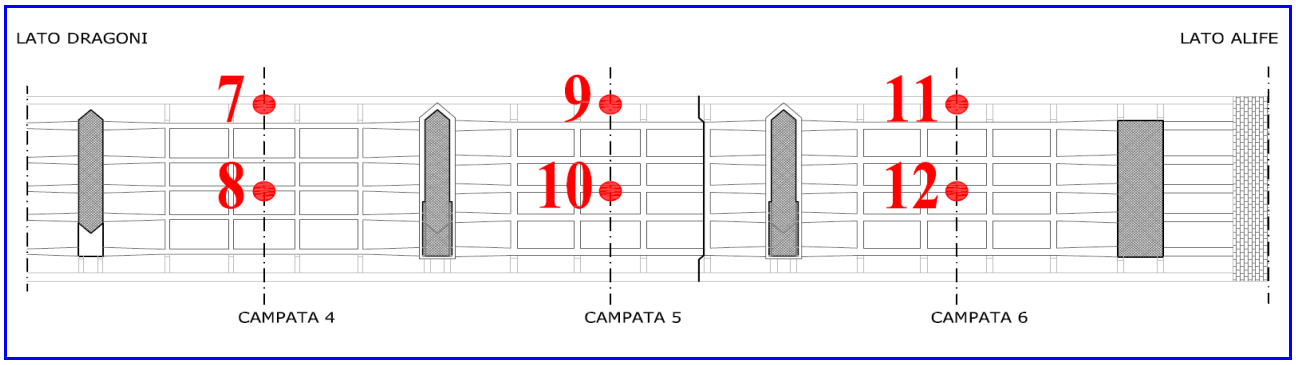


Tabella delle frecce in mezzeria

Frecce [mm]								
Ciclo	Carico	Fase	Campata 4		Campata 5		Campata 6	
			7	8	9	10	11	12
I	20 t	C-6	0,05	0,01	-0,06	-0,03	0,15	0,11
		C-5	**-0,04**	**-0,04**	**0,20**	**0,15**	**-0,05**	**-0,04**
		C-4	0,32	0,33	-0,24	-0,05	0,00	-0,03
		Scarico	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01
II	20 t	C-6	0,06	0,00	-0,02	-0,04	0,11	0,12
		C-5	**-0,02**	**-0,04**	**0,20**	**0,18**	**-0,03**	**-0,01**
		C-4	0,30	0,31	-0,04	-0,03	-0,01	-0,01
		Scarico	0,01	0,02	0,00	0,01	-0,01	0,00

Le deformazioni della campata 5, per la stessa condizione di carico, risultano inferiori alla sua simmetrica campata 2. La differenza è dovuta al fatto che sulla campata 5 è stato effettuato un intervento di irrobustimento delle travi con un notevole incremento della rigidezza.

L'analisi dei risultati mostra dei valori su cui possiamo effettuare delle semplici elaborazioni.

Iniziamo con la *Ripetibilità* che è la capacità elastica della struttura di riportarsi alla stessa deformazione se soggetta allo stesso carico, I e II ciclo.
Come riportato nella relazione allegata, tutte le condizioni di carico sono state riprodotte due volte. In questo confronto possiamo osservare che le tabelle delle frecce misurate mostrano valori praticamente identici con una Ripetibilità sempre superiore al 95%.

Analizziamo la *Linearità,* che è la capacità elastica della struttura di deformarsi in proporzione ai carichi o meglio ai Momenti prodotti.
Di seguito si riporta una tabella che valuta il valore della freccia media di mezzeria nelle tre condizioni di carico della campata 2, confrontandole percentualmente rispetto alla condizione massima di 20 t sia come valore di freccia sia come valore di Momento prodotto dal carico.

Tabella di confronto di Linearità sulla campata 2

Campata 2				
Carico	Fase	Freccia media [mm]	Rapporto frecce su 20 t	Rapporto Momenti su 20 t
5 t	A-2	**0,15**	29 %	27 %
10 t	B-2	**0,27**	52 %	53 %
20 t	C-2	**0,51**	100 %	100 %

La tabella mostra valori di confronto tra le frecce, prodotte dai carichi di 5 t, 10, t e 20 t, perfettamente allineati alle percentuali del 27% e del 53% di Momento prodotto dal carico.

Se infine analizziamo il *Residuo,* che è la capacità elastica della struttura di annullare le deformazioni all'uscita dei carichi, possiamo osservare che sono sempre praticamente a "zero".

Possiamo inoltre osservare altri aspetti.

La freccia massima, pari a 0,53 mm, si produce nella condizione C-2 dove il carico da 20 t è posto sulla campata 2 quella col giunto, mentre sulla campata 3, considerabile incastrata, la freccia massima, nelle stesse condizioni di carico, è pari a 0,33 mm. Fatto perfettamente compatibile con i tipi di vincolo.

Il valore della freccia massima ottenuta, 0,53 mm, è pari a 1/40.000 della luce, che rappresenta un rapporto veramente esiguo.

Va inoltre osservato come le deformazioni sulle campate 5, 6 sono nettamente inferiori a quelle delle loro simmetriche 1, 2 in quanto sappiamo che sulle campate 5 e 6 è intervenuto con un rinforzo strutturale che ne ha aumentato la rigidezza.

Le campate 3 e 4, che sono simmetriche, determinano, nella stessa condizione di carico con camion da 20 t, due frecce praticamente uguali.

Campata 3 a confronto con Campata 4

Carico	Fase	Freccia media [mm]
20 t	C-3	**0,33**
20 t	C-4	**0,32**

Da tutte queste valutazioni, che evidenziano un comportamento perfettamente elastico, se ne deduce che il carico di 20 t è sopportabile dalla struttura in estrema sicurezza.

In ogni modo nel Certificato di idoneità si permetterà un transito di mezzi fino a 3,5 t, che anche nel caso peggiore di mezzi allineati uno dopo l'altro, produce un Momento pari a solo il 43% di quello di prova da 20 t, come evidenziato dal confronto tra i Momenti massimi in figura 4, dove si è ipotizzato il transito di una stesa di furgoni da 3,5 t con distanza degli assi pari a 2,5 m.

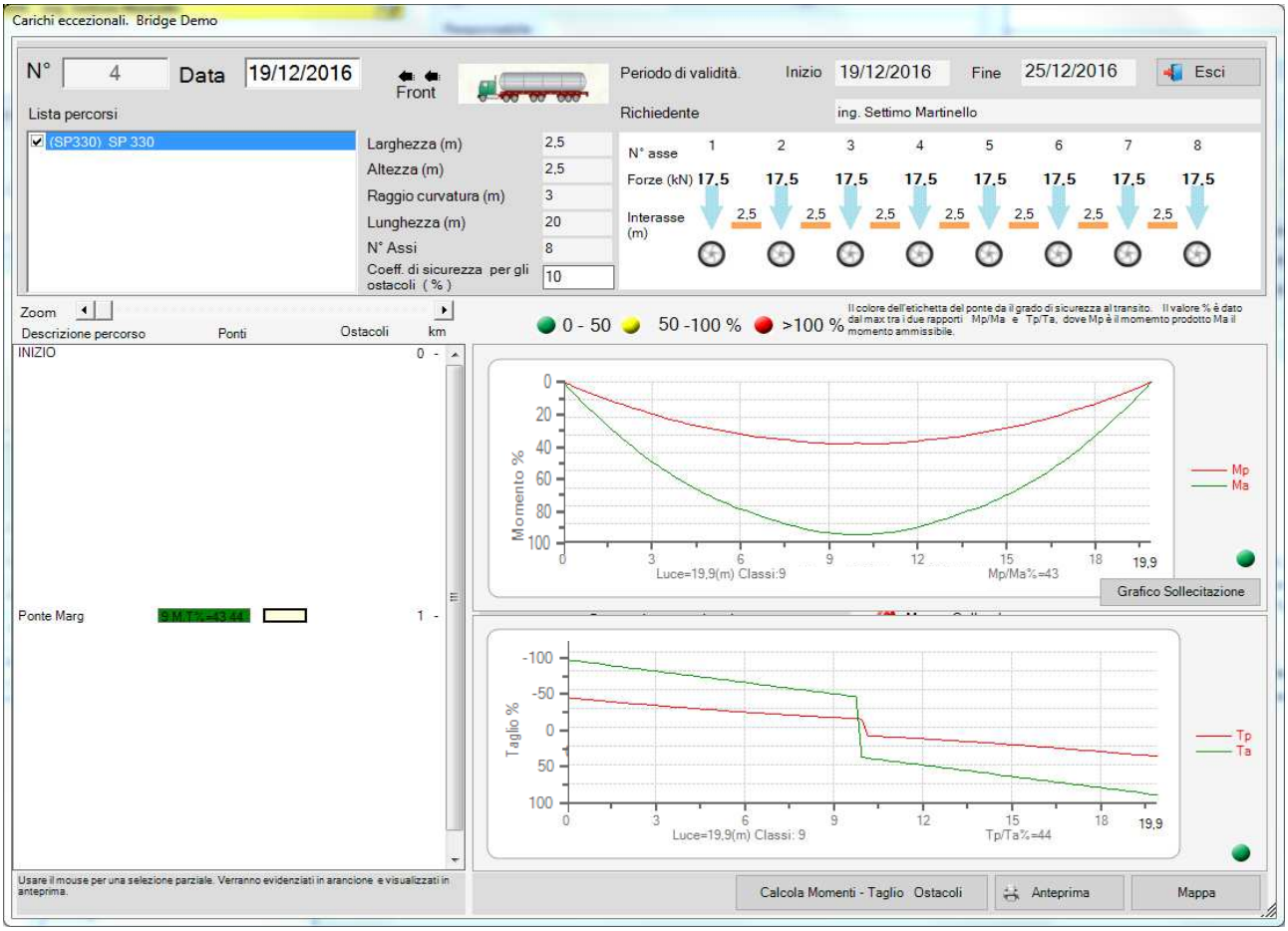


Fig.4 Confronto stesa furgoni da 35 kN e carico da 200 kN

5. Processo diagnostico per la valutazione delle capacità portante di un ponte

Come da vostra richiesta provvedo a descrivere il processo diagnostico necessario ad addivenire ad una precisa conoscenza del comportamento statico della struttura, allo scopo di individuare gli interventi necessari per l'adeguamento.

Fase	Operazione	Motivazione
1	**Modello numerico** Esecuzione di un modello numerico sulla base di un preciso rilievo geometrico	Fornisce la base di lavoro per le successive operazioni
2	**Ispezione visiva** Esecuzione di una attenta Ispezione visiva con Valutazione Numerica dello stato di degrado	Permette di individuare eventuali punti di crisi degli elementi strutturali indirizzando la progettazione del Piano delle Indagini. Fornisce una Valutazione numerica dello stato di degrado, attraverso l'indice Dr (Indice di difettosità relativa) e Da (indice di difettosità assoluto) che potrà essere efficacemente confrontata con le Ispezioni successive.
3	**Caratterizzazione dinamica sperimentale** Caratterizzazione dinamica sperimentale del ponte e caratterizzazione statica sperimentale attraverso carichi modesti	Permette la calibrazione del modello attraverso la variazione degli input necessari, Moduli elastici, rigidezze, gradi di vincolo, per l'ottenimento della corrispondenza tra risposte teoriche e sperimentali. In questo modo il modello potrà essere perfettamente allineato al comportamento reale.
4	**Calibrazione del Modello numerico** Calibrazione del modello numerico utilizzando lòe risposte sperimentali dinamiche e statiche	Dal modello calibrato si potranno ricavare gli elementi strutturali (travi) più caricati sia sotto il profilo dei carichi accidentali, nelle peggiori condizioni, sia sotto il profilo sismico. Si ricaveranno le sezioni necessarie e posizioni degli elementi tesi (ferri d'armatura) per poterli verificare nella realtà. Si ricaveranno le posizioni ideali per i prelievi del calcestruzzo (carote) privilegiando le sezioni più compresse. Sulla base del modello calibrato e dell'Ispezione visiva sarà possibile costruire un preciso Piano delle indagini che permetterà di ricavare informazioni sulle caratteristiche del calcestruzzo e una individuazione precisa della quantità di armatura nelle posizioni più critiche dal punto di vista della trazione.
5	**Piano delle indagini** Predisposizione del Piano delle indagini ed esecuzione dei prelievi e prove di Laboratorio; esecuzione dei rilievi in campo (armature); indagini sul suolo e sulle fondazioni.	Ricavati i valori sperimentali sulle caratteristiche del calcestruzzo e rilevate le quantità di armatura si potrà ulteriormente affinare il modello numerico inserendo le caratteristiche meccaniche, misurate in laboratorio ed elaborate statisticamente, negli specifici elementi strutturali, rendendo il modello numerico efficacemente rappresentativo di quello reale.
6	**Valutazione della sicurezza** Simulando sul modello calibrato i carichi di norma e le sollecitazioni sismiche	Sulla base del modello calibrato anche coi dati di Laboratorio, sarà possibile la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi con riferimento allo SLU, così come previsto nel NTC 2008 al cap. 8.3. Nel caso particolare del ponte Margherita si dovrà valutare specificatamente la "*riduzione evidente della capacità resistente*" derivante dalla fessurazione dell'elemento a puntello della trave 2 della campata 2 e valutati con precisione i "*gravi errori di progetto o di costruzione*" che probabilmente saranno individuati, dal modello calibrato, sulle travi 1 e 2.

Una volta in possesso di un modello calibrato risulterà dimostrabile la necessità di un intervento di rinforzo mirato agli elementi strutturali che si troveranno in deficit tensionale. Si potrà così ottenere il migliore risultato col minimo sforzo economico. Inoltre, alla fine dell'intervento di rinforzo, si potrà simulare l'effetto sul modello numerico calibrato confrontando i risultati con una caratterizzazione dinamica sperimentale allo stato finale. Questi valori saranno quelli di riferimento per gli anni successivi nell'ottica di una verifica costante delle capacità di carico.

Per quanto riguarda l'esecuzione dei prelievi è importante che avvengano nei punti evidenziati dal modello come quelli fondamentali per le successive verifiche di sollecitazione (nel caso specifico non risultano prelievi sulle travi inferiori).

Le carote, dopo il prelievo, vanno sezionate in Laboratorio, procedendo a più prove per singola carota, in modo da eliminare le parti con evidenti difetti che non sono rappresentative della reale resistenza

dell'elemento strutturale indagato. Sia sulla carota complessiva (che deve rappresentare l'intera sezione della trave, o della pila) che sulle singole sezioni (ridotte ad un massimo di rapporto 1/1 tra altezza e diametro) vanno eseguiti i rilievi di velocità ultrasonica.
Si procederà quindi al rilievo in campo della velocità ultrasoniche di un reticolo di punti (generalmente con lati di 30-50 cm) sul prospetto degli elementi strutturali indagati. Da questi risultati si ricaverà la resistenza meccanica media statistica da considerare nel confronto con le sollecitazioni teoriche.
L'osservazione attenta della carota, con lo scarto delle sezioni con valori di resistenza eccessivamente bassi, comporterà una riduzione della sezione resistente di calcolo ed una valutazione realistica della resistenza caratteristica dell'elemento strutturale.

6. Interventi di adeguamento necessari

Senza la disponibilità di un modello calibrato, di risultati di Laboratorio affidabili e soprattutto di rilievi di armatura aderenti, è impossibile addivenire all'individuazione se e quanto sia necessario per un adeguamento alle norme attuali.
Di certo risultano necessari gli interventi conservativi come l'impermeabilizzazione e la protezione delle armature conseguenti uno alle infiltrazioni evidenziate dall'ispezione l'altro alla carbonatazione.

In ogni modo anche la sola osservazione dello stato fessurativo mostra che gli interventi più urgenti devono essere effettuati sulle travi inferiori 1 e 2 della campata 2, che risultano lesionati definitivamente, e sui giunti delle campate 2 e 5 che evidenziano la peggiore situazione di corrosione delle armature.

Inoltre, come già evidenziato al paragrafo 2, la trave 1 non appoggia direttamente sulle pile e grava in maniera inusuale sulla trave 2. La trave 2 ha chiaramente una armatura insufficiente per resistere agli effetti torsionali provocati dallo sbalzo laterale (vedi Foto 2). Va anche evidenziato che le armature indicate dal rilievo non risultano coerenti con una progettazione ingegneristica che dovrebbe prevedere sulla trave inferiore più armatura sul lato 2 piuttosto che sul lato 4.

Andrà infine valutata, e solo il modello calibrato è in grado di darne risposta, la necessità di rinforzare in direzione trasversale la trave 2 oppure procedere all'allargamento delle pile per consentire un adeguato appoggio della trave 1.
Il consolidamento dei due giunti, sulle campate 2 e 5, piuttosto che una loro sostituzione, potrà essere valutato solo considerando i salti termici stagionali sul modello calibrato che evidenzierà l'eventuale possibilità di assorbire le coazioni termiche.

In fede.

Ing. Settimo Martinello

Bolzano, 24 dicembre 2016