



Ispezione speciale del viadotto strallato Carpineto I

Special inspection of the Carpineto I Cable-stayed viaduct

Prof. Ing. Lucio della Sala ^a, Ing. Alberto Gennari Santori ^b, Ing. Stefano Forte ^c

^a Professore emerito di Costruzione di Ponti, Università della Basilicata

^b ANAS S.P.A. – Centro Sperimentale Stradale di Cesano

^c Libero Professionista

Parole chiave: Calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi, rilievi strutturali, valutazione dello stato tensionale, identificazione modale.

SOMMARIO

Il viadotto “CARPINETO I” è l'ultimo, in ordine di tempo, dei “*ponti strallati omogeneizzati*” in calcestruzzo armato precompresso realizzati su progetto del Prof. Ing. Riccardo Morandi.

L'opera, realizzata nel 1974 è costituita da 2 vie di corsa separate, i cui impalcati sono sostenuti da una coppia di strutture strallate collegate mutuamente da una travata isostatica di 42 m, in modo da realizzare una luce centrale di 181 m e consentire il superamento di una zona in frana.

Nel 2001, 2013 e 2021, il viadotto è stato interessato da più campagne di indagine che hanno avuto come oggetto la verifica delle carpenterie strutturali e della geometria dell'armatura di precompressione di impalcati e stralli, l'ispezione visiva dell'intera opera, la valutazione dello stato di conservazione dei cavi, il rilievo della configurazione geometrica degli stralli e l'individuazione dei parametri modali delle 2 vie di corsa.

I risultati delle indagini sono stati utilizzati per calibrare un modello numerico della struttura, successivamente utilizzato per la valutazione del livello di sicurezza dell'opera e la simulazione della prova di carico statico programmata per i primi mesi del 2022.

1 PREMESSA

Il viadotto Carpineto I, ultimato nel 1976, rappresenta, in ordine di tempo, l'ultimo dei ponti strallati omogeneizzati in calcestruzzo armato precompresso realizzati su progetto del prof. ing. Riccardo Morandi.

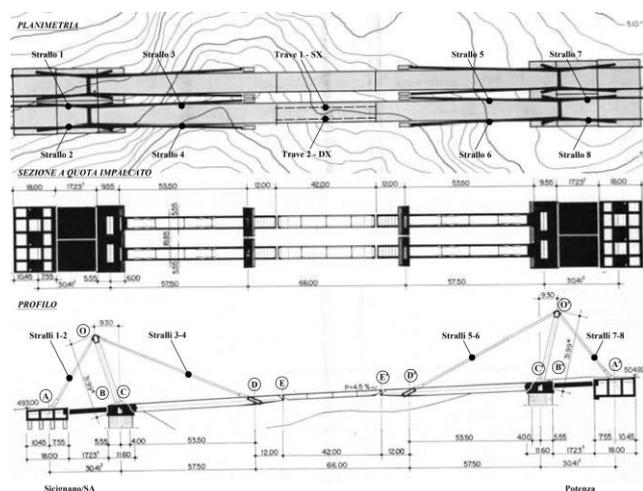
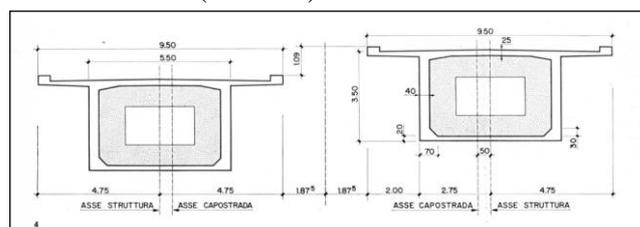


Figura 1. Schema geometrico dell'opera con l'identificazione delle parti d'opera.

L'opera presenta 2 vie di corsa parallele ad andamento planimetrico rettilineo, separate ed indipendenti, ognuna della larghezza di 9.5 m e lunghezza complessiva di 241.8 m. Ogni carreggiata è costituita da una coppia di strutture strallate collegate mutuamente da una travata isostatica di luce 42.0 m, in maniera tale da realizzare una luce centrale di 181.0 m e consentire il superamento di una zona in frana (in Figura 1 si riporta lo schema dell'opera con l'identificazione delle parti d'opera).

Ogni sistema strallato si compone di una trave principale a cassone monocellulare [Figura 2] di lunghezza 65.5 m ed altezza 2.4 m (C-D-E), incernierata ad una estremità al blocco di fondazione della pila (nodo C) e sostenuta a circa 4/5 della luce (nodo D) da 2 stralli - vincolati a



due traversoni in c.a.p. - i quali, dopo il rinvio

sull'antenna, si ancorano ad un cassone di contrappeso. Queste travi presentano una precompressione indotta da un totale di 24 cavi M5/16 (16 trefoli da 0,5"), di cui 8 nella controsoletta del tratto C-D e 18 nel tratto D-E.

Figura 2. Trave principale a cassone monoconnessa.

Le due travate a cassone sono collegate tra loro da un impalcato tampone a graticcio semplicemente appoggiato (EE') composto da due nervature portanti collegate da traversi (3 di campata e 2 di testata) [Figura 3]. Le travi sono precomprese mediante 7 cavi M5/16 e un cavo M5/8.

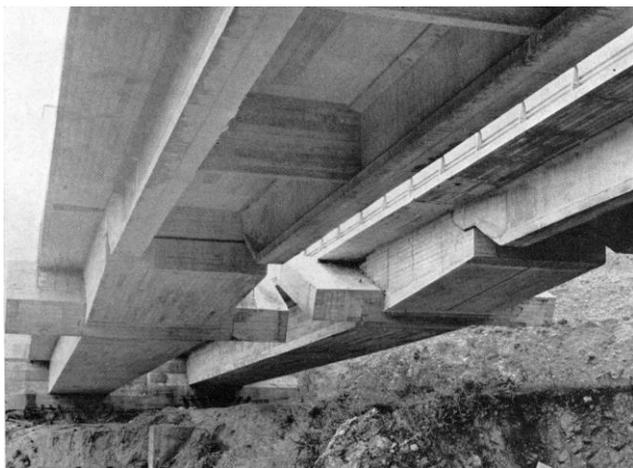


Figura 3. Intradosso impalcato.

Gli stralli, che costituiscono gli elementi caratteristici dell'opera, sono realizzati da un fascio di 15 cavi paralleli composti da 16 trefoli da 0.5", senza guaina metallica, protetti da un "guscio" in calcestruzzo armato a sezione rettangolare a creare una guaina in c.a.p.. Il "guscio" è costituito da conci prefabbricati di lunghezza 2.0 m e sezione rettangolare di dimensioni esterne 110 x 80 cm, con 4 setti interni per consentire l'alloggiamento dei trefoli, e coperchi di spessore 10 cm [Figura 4]; in una fase successiva al varo della travata sospesa, il "guscio" è stato precompresso longitudinalmente mediante ulteriori 10 cavi composti da 8 trefoli da 0.5", senza guaina metallica, appositamente predisposti, in modo da imprimere una presollecitazione tale da impedire l'insorgenza di tensioni di trazione nel calcestruzzo nelle massime condizioni di esercizio.

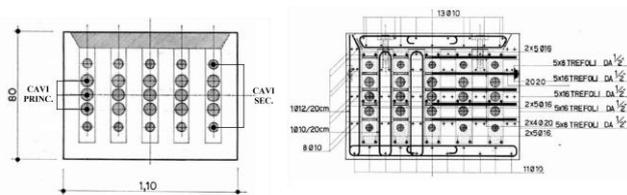


Figura 4. Sezione strallo.

Le antenne, dalla cui sommità si dipartono gli stralli, sono formate da 2 ritti a sezione rettangolare costante (2.0 x 1.8 m) inclinati di 22° sulla verticale, di altezza pari a 32.0 m e collegati in testa da un traversone cavo in c.a. di 2.0 m di larghezza x 3.0 m di altezza, successivamente precompresso a mezzo di due coppie di cavi M5/8 e M5/4 rispettivamente dal lato d'ormeggio e dal lato di campata in corrispondenza dell'attacco degli stralli [Fig. 7]. Tutti i cavi, sia i principali che i secondari, sono passanti su ciascuna antenna tramite apposite selle di rinvio realizzate con profilati in acciaio successivamente annegate nel calcestruzzo.

2 RILIEVO GEOMETRICO E DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI

2.1 Configurazione a catenaria degli stralli

Si è proceduto al rilievo topografico della configurazione geometrica a catenaria degli 8 stralli. Per ciascuno strallo si sono misurate le coordinate X (orizzontale longitudinale) e Z (verticale) di punti ubicati a passo 1.0 m sulla superficie di intradosso tra la base e l'antenna, rispetto ad un riferimento XZ coincidente con l'innesto dello strallo sull'antenna. Le misure sono state eseguite utilizzando una stazione totale motorizzata automatica Leica TS16, con precisione sulla misura angolare di 1" e precisione sulla misura della distanza su miniprisma pari a 1 mm + 1.5 ppm.

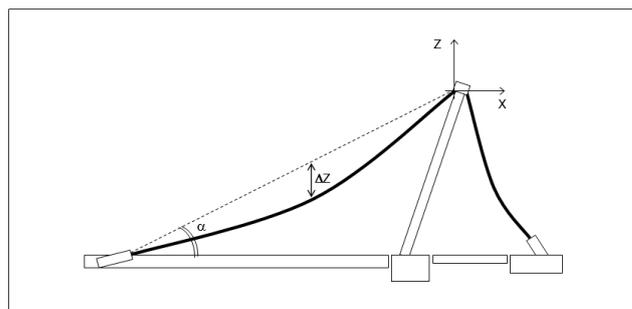


Figura 5. Schema funzionale del rilievo topografico dello strallo tipo.

Nella tabella 1, per ogni strallo analizzato, si riepilogano il valore dell'angolo α di inclinazione della corda ed i valori massimi degli scostamenti ΔZ e $\Delta Z \cdot \cos \alpha$ tra strallo e corda.

Tabella 1. Valori dell'angolo delle corde e dello scostamento verticale massimo tra stralli e corde.

Strallo	Posizione		α (deg)	ΔZ (cm)	$\Delta Z \cos \alpha$ (cm)	
	Antenna	Sezione				Lato
1	SA	Ancor.	SX	56.6	17.9	9.9
2	SA	Ancor.	DX	56.6	17.5	9.7
3	SA	Impalc.	SX	23.0	64.8	59.6

4	SA	Impalc.	DX	22.9	67.6	62.3
5	PZ	Impalc.	SX	28.1	66.9	59.0
6	PZ	Impalc.	DX	28.1	69.7	61.4
7	PZ	Ancor.	SX	51.4	15.2	9.5
8	PZ	Ancor.	DX	51.5	21.9	13.6

2.2 Tracciato dei cavi di precompressione degli impalcati

Allo scopo di verificare la corrispondenza tra i documenti di progetto e quanto effettivamente realizzato, si è proceduto al rilievo a campione dell'armatura di precompressione sui seguenti elementi strutturali tipo:

- impalcato a cassone monocellulare C-D-E, setto verticale.
- Impalcato di accoppiamento E-E', trave.

Le misure georadar sono state effettuate mediante uno strumento *Proceq gpr live GP8000* con tecnologia stepped frequency, caratterizzato da una banda in frequenza compresa tra 0.2 e 4.0 GHz ed una massima profondità di investigazione di circa 80 cm su calcestruzzo asciutto [Figura 6]. Il saggio conoscitivo, effettuato sulla testata del cavo I sull'impalcato a cassone C-D-E, ha evidenziato la presenza di un cavo di un ancoraggio di tipo Morandi M5/16, con 16 trefoli da 0.5". I rilievi effettuati hanno confermato la piena corrispondenza tra il tracciato dei cavi riportato nei documenti di progetto e la struttura reale.

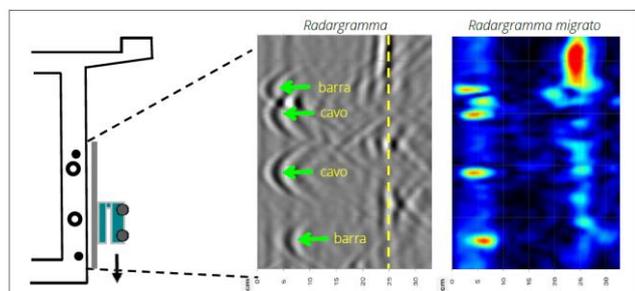


Figura 6. Individuazione dei cavi di precompressione mediante rilievo radar.

2.3 Sistema di rinvio dei cavi degli stralli sulla sommità delle antenne

Al fine di confermare quanto riportato nei documenti di progetto relativamente al sistema di rinvio dei cavi degli stralli in corrispondenza della sommità delle antenne, si è proceduto all'esecuzione dei seguenti saggi conoscitivi locali in corrispondenza del traversone di sommità dell'antenna:

- innesto strallo 2 e antenna Sicignano - i saggi hanno consentito di evidenziare che il sistema di rinvio dei cavi è costituito da una raggiera di profili metallici, con una sola barra di sostegno orizzontale Ø28 mm per

ogni cavo anziché 2 barre sovrapposte Ø16 mm come riportato in progetto;

- testata del traversone delle antenne - i saggi hanno consentito di evidenziare la presenza di 4 cavi di precompressione longitudinale dei traversoni non previsti in progetto; di tali 4 cavi, i 2 verso gli stralli di riva sono costituiti da cavi di tipo Morandi M5/8, mentre i 2 verso gli stralli di campata sono realizzati con 2 cavi di tipo Morandi M5/4 [Fig. 7].



Figura 7. Vista dal lato destro del traverso dell'antenna Sicignano.

3 INDAGINI IN SITO

3.1 Sondaggi endoscopici sui cavi di precompressione

Dopo un'accurata ispezione visiva ravvicinata degli elementi strutturali fuori terra del viadotto, mediante accesso con by-bridge e piattaforma aerea si è proceduto all'esecuzione delle prove in sito allo scopo di verificarne a campione puntualmente lo stato di conservazione. Pertanto, si è proceduto all'esecuzione di 132 prospezione endoscopiche così distribuite:

- 105 prospezioni endoscopiche sui cavi degli 8 stralli, effettuate sia in prossimità dell'antenna che in prossimità delle zone di innesto con l'impalcato e i cassoni di ancoraggio;
- 24 prospezioni endoscopiche sui cavi degli impalcati a cassone e dell'impalcato di accoppiamento a graticcio;
- 3 prospezioni endoscopiche sui cavi dei traversoni di sommità delle 2 antenne.

Le prospezioni sono state eseguite con la seguente procedura:

- individuazione dei cavi mediante rilievi georadar;
- esecuzione di un foro di diametro 24 mm di profondità tale da intercettare la guaina del cavo;

- apertura della guaina ed esecuzione dell'ispezione visiva, con valutazione dello stato di conservazione, della guaina, della boiaccia di iniezione e dell'armatura di precompressione;
- richiusura dei fori con malta fibrorinforzata a ritiro controllato.

Nella tabella 2 si riassumono le anomalie individuate sui vari tipi di elemento strutturale.

Tabella 2. Riepilogo prospezioni endoscopiche sui cavi di precompressione.

Elemento	Endoscopie	Stato trefoli		Stato iniezione	
		corrosi	molto oss.	parziale	assente
Stralli	105	1		3	1
Setti	15	1	1	4	1
Travi	9			1	
Traver.	3			2	
TOTALE	132	2	1	10	2

Le prospezioni endoscopiche sui cavi di precompressione hanno evidenziato quanto segue.

Stralli:

- la maggior parte dei trefoli degli stralli risulta interessata da una lieve ossidazione superficiale, presumibilmente presente fin dalla fase di realizzazione degli stralli in quanto i trefoli sono rimasti in opera senza protezione per diversi mesi prima dell'iniezione degli elementi prefabbricati a pettine in c.a.;
- su un cavo i trefoli sono risultati corrosi (strallo 2 – antenna - cavo 22, impalcato)
- i cavi sono risultati generalmente ben iniettati: alcune lacune si sono individuate nella sezione di innesto con il traversone di sommità dell'antenna;
- su circa il 50% dei cavi investigati sugli stralli 4 e 5 si è evidenziata la presenza di acqua o umidità; in percentuale minore, difetti analoghi sono stati rilevati sui cavi degli stralli 1, 2, 3 e 6.

Impalcato e traversoni di sommità delle antenne:

- i trefoli dei cavi investigati sugli impalcato e sui traversoni di sommità delle antenne sono risultati in buone condizioni di conservazione; solamente su 2 cavi del traversone dell'impalcato del cassone C'D'E' si sono individuate trefoli corrosi o fortemente ossidati;
- in non pochi casi (circa il 25%), l'iniezione dei cavi è risultata parziale o assente;

3.2 Valutazione dello stato tensionale dei cavi di precompressione

La valutazione dello stato tensionale agente nell'armatura di precompressione è stata effettuata mediante prove di detensionamento sui

cavi sia degli stralli che dell'impalcato. La prova è consistita nel tagliare un solo filo di un trefolo, preventivamente strumentato con un estensimetro resistivo, rilevando le deformazioni prodotte dal taglio stesso dalle quali è stato possibile risalire alla tensione residua [Fig. 8].

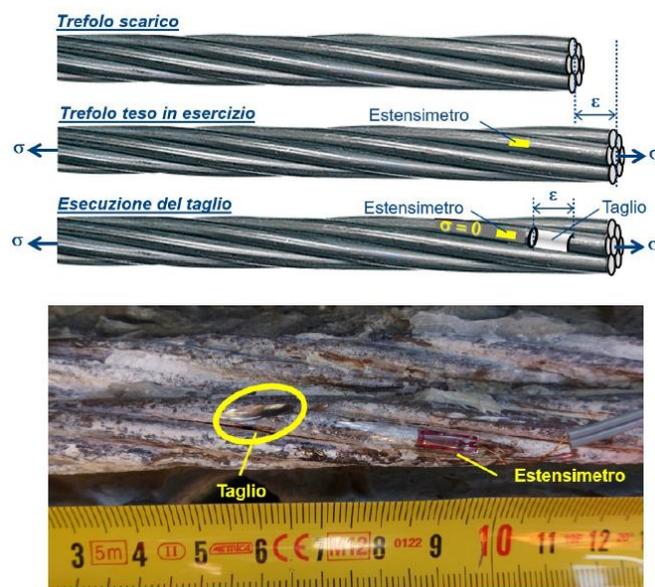


Figura 8. Prova di detensionamento sui cavi di precompressione.

Le tensioni rilevate sono riepilogate nelle tabelle 3 (stralli) e 4 (impalcato).

Tabella 3. Prova di detensionamento sui cavi di precompressione (stralli).

Prova n.	Strallo	Cavo	σ (Mpa)
6	1	1	666
5	1	2	461
13	2	4	456
14	2	5	501
1	3	4	692
2	3	5	645
10	4	1	1079
9	4	2	1042
3	5	4	720
4	5	5	745
11	6	4	623
12	6	5	777
7	7	2	637
8	7	1	580
16	8	2	834
15	8	1	1117
		Min.	456
		Med.	723
		Max.	1117

Tabella 4. Prova di detensionamento sui cavi di precompressione (impalcato).

Prova n.	Tronco Imp.	Cavo	σ (Mpa)
23	CD	o est.	1044
24	DE	f int.	991
25	D'	2	1133
20	EE'	b DX	497
21	EE'	b DX	894
22	EE'	b SX	696
17	C'D'	o int.	864
18	C'D'	o int.	548
19	D'E'	f int.	906
		<i>Min.</i>	497
		<i>Med.</i>	841
		<i>Max.</i>	1133

Le prove di detensionamento hanno evidenziato quanto segue:

- Stralli: $\sigma_e = 456 \div 1117$ MPa, con un valore medio di 723 MPa.
- Impalcato: $\sigma_e = 497 \div 1133$ MPa, con un valore medio di 841 MPa.

4 RILIEVO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO

Allo scopo di ottenere una valutazione diretta delle proprietà meccaniche del calcestruzzo, si è proceduto all'esecuzione di prove di compressione a rottura su 10 campioni cilindrici di calcestruzzo prelevati in sito dai seguenti elementi strutturali:

- impalcato a cassone CD – setti longitudinali: 2 carote;
- impalcato a cassone C'D' – setti longitudinali: 2 carote;
- impalcato di accoppiamento EE' – travi: 2 carote;
- fusto antenna lato PZ: 2 carote;
- traversoni di sommità antenne SA e PZ: 2 carote.

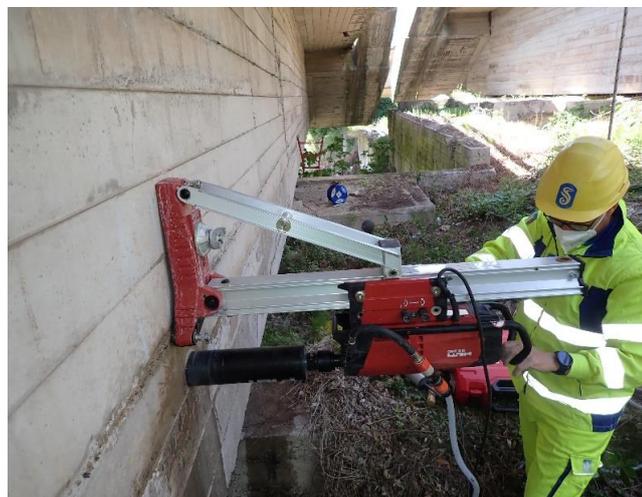


Figura 9. Prelievo della carota C3.

I risultati sono consegnati nelle tabelle seguenti dall'esame delle quali si desume una più che buona qualità del cls:

Tabella 5. Prove di compressione a rottura su carote di calcestruzzo.

Sigla carota	Parte	Elem.	Massa V (kg/mc)	Rc,is (Mpa)	fc,is (Mpa)
C2	imp. C'D'	setto DX	2400	74.5	61.8
C3	imp. C'D'	setto SX	2320	63.9	53
C4	imp. EE'	trave B	2320	51.2	42.5
C5	imp. EE'	trave A	2290	59.3	49.2
C6	anten. SA	traverso	2380	82.5	68.5
C7	imp. CD	setto DX	2360	65.5	54.4
C8	imp. CD	setto SX	2330	60.1	49.9
C11	anten. PZ	traverso	2380	74.4	61.8
C12	anten. PZ	fusto SX	2330	76.7	63.7
C13	anten. PZ	fusto DX	2350	77.7	64.5
		<i>Min.</i>	2290	51.2	42.5
		<i>Med.</i>	2346	68.6	56.9
		<i>Max.</i>	2400	82.5	68.5

Tabella 6. Fattori di disturbo Fd in funzione della resistenza delle carote (carote Ø100 mm, H/Ø=1).

f carota (Mpa)	10	20	25	30	35	40
Fd	1.10	1.09	1.08	1.06	1.04	1.00

5 IDENTIFICAZIONE MODALE SPERIMENTALE

5.1 Configurazioni strumentali

Le prove dinamiche sono state eseguite strumentando gli stralli, gli impalcato e le antenne in corrispondenza di 30 punti di misura, ciascuno strumentato con accelerometri in configurazione mono, bi o triassiale [Figura 10]. A causa dell'elevato numero di punti di misura, l'acquisizione è stata suddivisa in 4 configurazioni differenti, ciascuna costituita da 12 accelerometri, mantenendo sempre 3 di questi nella medesima posizione (2 sul cordolo destro degli impalcato a cassone in corrispondenza dei 2 traversoni ed uno sul cordolo sinistro nella mezzeria della travata tampone), in maniera tale da consentire la ricostruzione delle deformate modali.

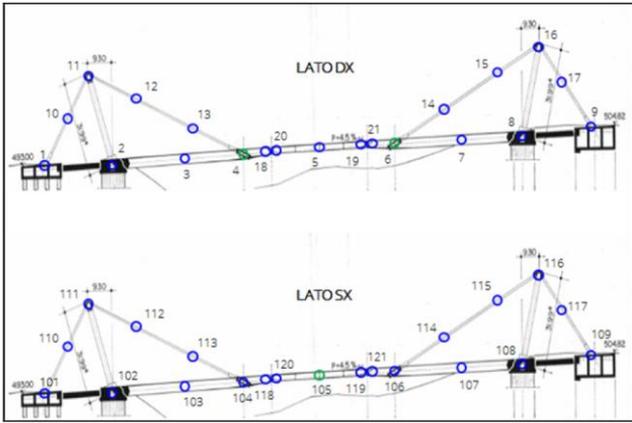


Figura 10. Ubicazione degli accelerometri, in verde i nodi di riferimento.

Le 4 configurazioni di misura sono state definite in modo tale da analizzare in ognuna una parte differente dell'intera struttura differenti:

- configurazione 1: sistema strallato lato Salerno, comprendente la sommità della antenna SA e gli stralli 1, 2, 3 e 4 [Fig. 12];
- configurazione 2: sistema strallato lato Potenza, comprendente la sommità della antenna PZ e gli stralli 5, 6, 7 e 8 [Fig. 13];
- configurazione 3: travate a cassone CDE e C'D'E' [Fig. 14];
- configurazione 4: travata tampone [Fig. 15].



Figura 11. Accelerometri installati su: strallo 2 (b), antenna SA – innesto strallo 3 (a) e cordolo destro traversone (c).

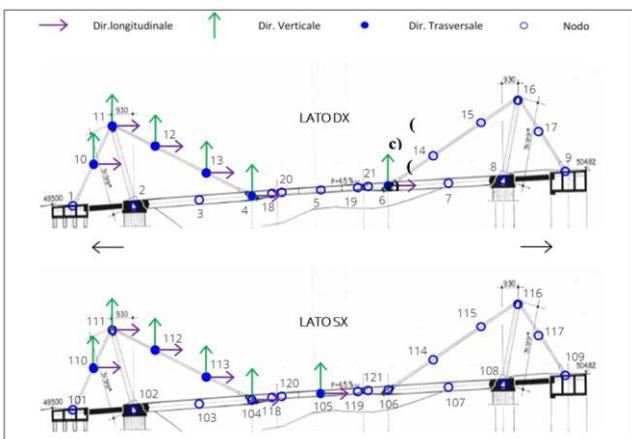


Figura 12. Disposizione accelerometrica della configurazione 1 con indicazione dei canali attivi.

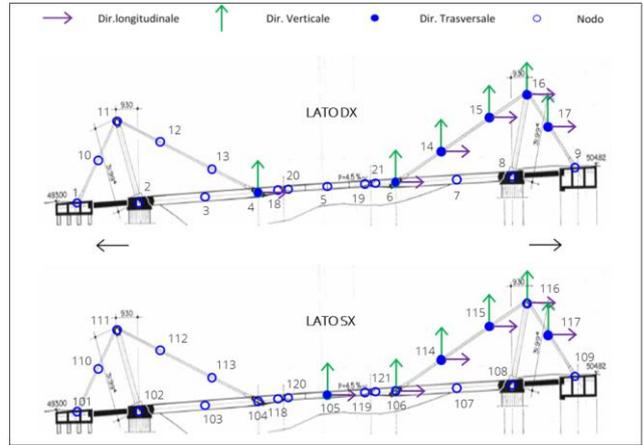


Figura 13. Disposizione accelerometrica della configurazione 2 con indicazione dei canali attivi.

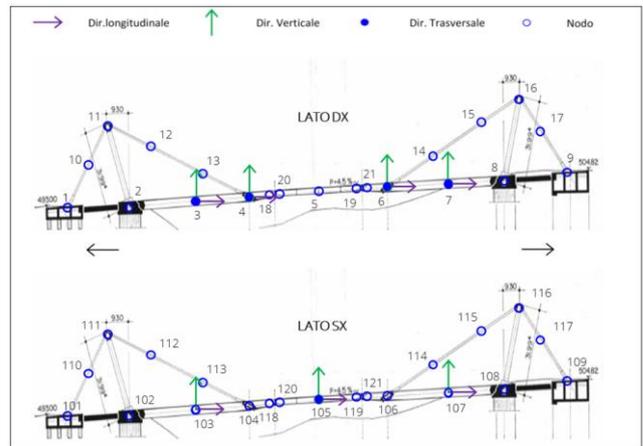


Figura 14. Disposizione accelerometrica della configurazione 3 con indicazione dei canali attivi.

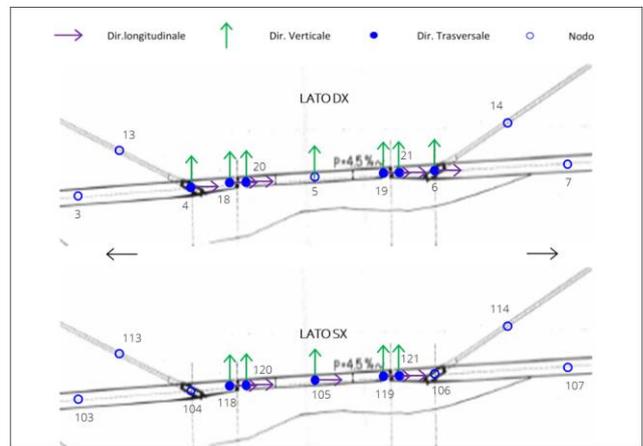


Figura 15. Disposizione accelerometrica della configurazione 4 con indicazione dei canali attivi.

5.2 Risultati

Le prove sono state effettuate utilizzando come forzante il traffico stradale, simulato dal transito continuo sulle 2 corsie di un autocarro a 4 assi di peso complessivo pari a circa 200 kN, viaggiante ad una velocità di circa 40 Km/h, per una durata totale di 45 minuti per ogni configurazione strumentale. Nella Tabella 7, per

ognuno dei 13 modi identificati, si riepilogano i seguenti parametri:

- frequenza f ;
- coefficiente di smorzamento ζ ;
- coefficienti di struttura partecipante CSP;
- coefficienti di direzione partecipante CDP.

Tabella 7. Riepilogo parametri modali identificati.

Modo n.	f (Hz)	ζ %	CSP	CDP (X)	(Y)	(Z)
1	0,70	1,60	imp.	68%	89%	5%
			stra.	32%	58%	15%
2	0,95	0,60	imp.	34%	2%	3%
			stra.	66%	1%	34%
3	1,01	0,66	imp.	21%	2%	7%
			stra.	79%	1%	33%
4	1,29	0,85	imp.	43%	2%	2%
			stra.	57%	6%	24%
5	1,49	1,23	imp.	63%	8%	6%
			stra.	37%	9%	16%
6	2,05	1,30	imp.	54%	3%	8%
			stra.	46%	2%	31%
7	2,32	0,69	imp.	29%	2%	10%
			stra.	71%	1%	32%
8	2,47	0,59	imp.	17%	2%	6%
			stra.	83%	1%	32%
9	2,56	0,75	imp.	49%	2%	9%
			stra.	51%	1%	33%
10	2,84	0,97	imp.	53%	15%	4%
			stra.	47%	57%	16%
11	3,11	0,67	imp.	31%	31%	7%
			stra.	69%	89%	6%
12	3,27	0,60	imp.	24%	5%	8%
			stra.	76%	3%	58%
13	3,33	0,79	imp.	13%	14%	6%
			stra.	87%	7%	52%

Nella Figura 16 si presenta lo spettro di accelerazione medio.

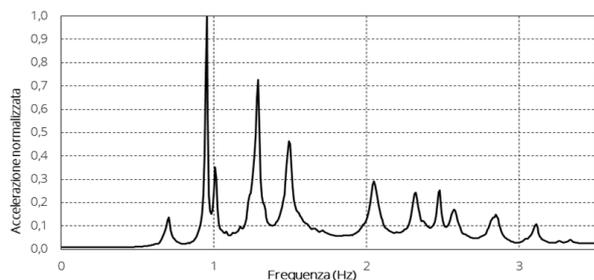


Figura 16. Spettro di accelerazione medio.

Limitatamente agli stralli, nella tabella 8, si presentano i valori delle frequenze dei primi modi naturali nel piano verticale ed orizzontale.

Tabella 8.a. Frequenze di vibrazione naturale degli stralli, piano verticale.

Str.	Frequenze (Hz)					
1	0.96			1.29	1.34	1.52
2	0.95			1.29	1.34	
7	0.96			1.30	1.34	
8	0.96			1.30	1.33	
3	0.71	0.96	1.02	1.29	1.34	
4	0.71	0.96	1.02	1.29	1.34	
5	0.71	0.96	1.02	1.29	1.33	
6	0.71	0.96	1.02	1.29	1.33	

Tabella 8.b. Frequenze di vibrazione naturale degli stralli, piano orizzontale.

Str.	Frequenze (Hz)							
1				1.14	1.18			
2				1.13	1.18			
7			1.09	1.13	1.17		1.52	
8			1.10	1.13	1.18		1.52	
3	0.71	0.96	1.02	1.09	1.13	1.17	1.24	1.53
4	0.71			1.09	1.13	1.18	1.24	1.56
5	0.71	0.96		1.09	1.13	1.17	1.24	1.51
6	0.71	0.96	1.02	1.09	1.13	1.17	1.24	1.53

6 MODELLAZIONE FEM

I dati ottenuti dalle prove e dai rilievi effettuati in sito sono stati utilizzati per mettere a punto un modello strutturale agli elementi finiti al duplice scopo di:

- validare e analizzare i risultati delle rilevazioni dinamiche sperimentali;
- giungere ad una valutazione attendibile dello stato di sollecitazione delle membrature nelle massime condizioni di esercizio.

La modellazione, e quindi la trattazione statica e dinamica del Viadotto, è stata condotta mediante l'ausilio del software Midas Civil [Fig. 17].

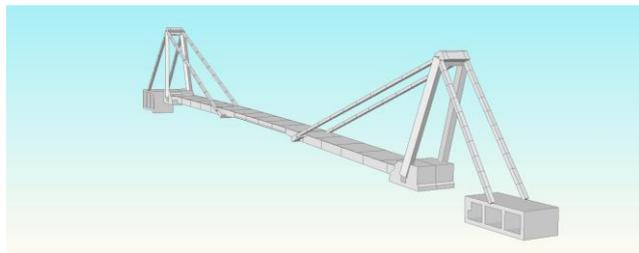


Figura 17. Modello FEM Carpineto I.

È stato implementato un modello del sistema strallato che portasse in conto tutte le fasi costruttive [Fig.18], come descritte dal Prof. Ing. Riccardo Morandi nei suoi elaborati e anche tutti i fenomeni reologici - Viscosità e Ritiro - che era previsto si sviluppassero secondo la normativa dell'epoca.

In tal modo si è pervenuto alla valutazione delle caratteristiche di sollecitazione e di deformazione sia a tempo zero che a fenomeni lenti esauriti.

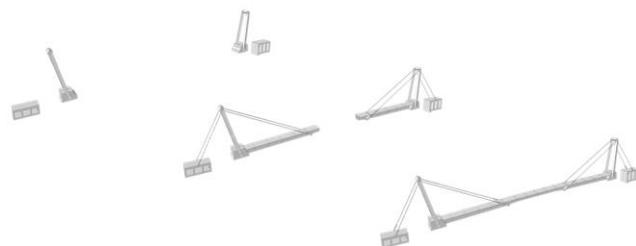


Figura 18.a - Construction stage

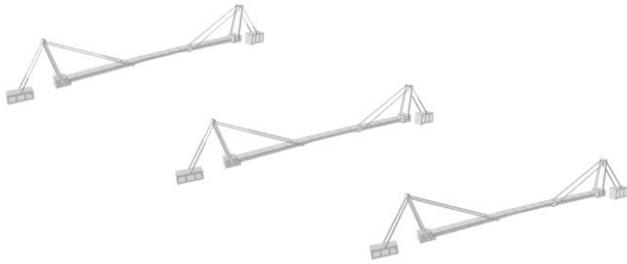


Figura 18.b - Construction stage.

La struttura è stata schematizzata come un sistema di elementi *Cable* ed elementi monodimensionali *beam* a comportamento elastico lineare riportando le reali sezioni dei diversi elementi strutturali.

Alle estremità della travata di accoppiamento, come da progetto, sono presenti da un lato una cerniera e dall'altra un carrello che permettono allo schema di poter traslare liberamente in direzione longitudinale a seguito della applicazione di azioni orizzontali, quali variazioni di temperatura e/o azioni di frenatura, in modo da schematizzare il vincolo reale. Ovviamente si sono considerati il carico da peso proprio, il carico permanente nonché i carichi accidentali tra cui quelli mobili.

Una volta calibrato il modello attraverso il confronto del contenuto in frequenza degli spettri teorici e di quelli sperimentali si è passati alla fase della cosiddetta *identificazione modale* (a ciascun modo si è accoppiato un ben determinato comportamento strutturale). Gli scostamenti delle forme modali sperimentali e quelle numeriche sono minimi, qualche unità percentuale. Il suddetto confronto ha fornito utili indicazioni sul comportamento dell'intera struttura ma soprattutto degli stralli; infatti, ha mostrato come la frequenza fondamentale di vibrazione rilevata sperimentalmente [Fig. 19] risulti prossima ai valori teorici desunti dalla modellazione FEM [Fig. 20].

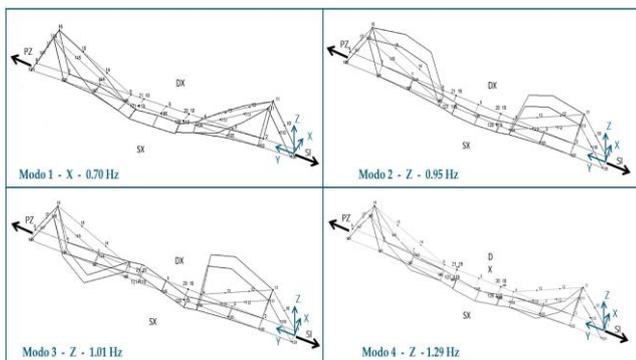


Figura 19. Rappresentazione grafica delle deformate modali dei primi quattro modi individuati.

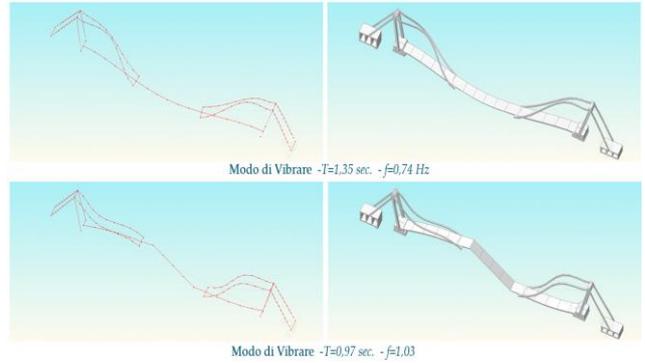


Figura 20. Rappresentazione grafica delle deformate modali dei primi 2 modi teorici.

Dal punto di vista dinamico, l'analisi dei risultati sperimentali ed il raffronto con i corrispondenti valori teorici desunti dal modello FEM e da schemi semplificati, mostrano una più che buona corrispondenza per cui può affermarsi che la struttura indagata esibisce un comportamento che può ritenersi conforme alle previsioni di progetto. Pertanto, si è confermato, anche se solo per i carichi permanenti, il comportamento a sezione interamente reagente degli stralli imposto dal Morandi.

Pur tuttavia, va segnalato che le condizioni di degrado riscontrate sugli stralli, consistenti in quadri fessurativi a carico del calcestruzzo ed anomalie di corrosione a carico dei trefoli dei tiranti, nonché i ridotti valori della tensione residua di precompressione rilevata sulle guaine in c.a.p., consigliano di procedere ad ulteriori approfondimenti finalizzati a verificare l'efficienza della struttura nei riguardi dei carichi di esercizio imposti dalle norme vigenti.

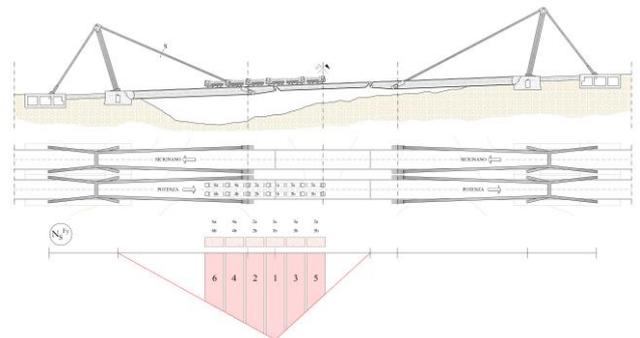


Figura 21. Prova di carico – max Sforzo Normale strallo

Infatti, le valutazioni finora condotte numericamente confermano che, sotto l'azione dei carichi di esercizio, negli stralli si attingono tensioni di trazione praticamente pari a quelle di precompressione e in qualche caso superiore. Ciò comporterebbe che le sezioni di contatto dei conci prefabbricati delle guaine, finora certamente compresse dalla coazione rappresentata dal tiro dei cavi secondari, verrebbero a scaricarsi completamente o addirittura andare in trazione

con conseguente loro parzializzazione e distacco delle parti a contatto.

Per tale motivo si è deciso di procedere all'esecuzione di una serie di prove di carico tese alla definizione del comportamento del Viadotto strallato sotto l'azione dei carichi di esercizio valutando, nei diversi elementi strutturali che lo compongono, sia lo stato di sforzo che di deformazione.

A puro titolo di esempio, nella figura 21 viene consegnata la condizione di carico mobile (realizzabile tramite il posizionamento affiancato di singoli veicoli di peso noto) necessaria alla determinazione del massimo sforzo normale di progetto nello strallo.