



RELAZIONE DI CALCOLO DELLE PROVE DI CARICO

PONTI IN ACCIAIO

INDICE

1	PREMESSE	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
1.2	OBIETTIVO	6
2	SCHEMI DI CARICO	7
2.1	MEZZI UTILIZZATI	7
2.2	FASE 1	8
2.3	FASE 2	8
2.4	FASE 3	9
2.5	FASE 4	10
2.6	DISPOSIZIONE DEI PUNTI DI MISURA	11
2.7	PROGRAMMA DI CARICO E MODALITÀ DI LETTURA	11
3	MODELLAZIONE	12
3.1	INFORMAZIONI SUL CODICE DI CALCOLO	12
3.2	ANALISI FEM	12
4	SOLLECITAZIONI NELLA FASE DI PROGETTO	14
5	SOLLECITAZIONI IN FASE DI PROVA DI CARICO	15
5.1	FASE 2	15
5.2	FASE 3	15
5.3	RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI	16
6	SPOSTAMENTI IN FASE DI PROVA DI CARICO	17
6.1	FASE 2	17
6.1	FASE 3	18

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento dell'intervento	4
Figura 2 – Sezione trasversale campata di riva	5
Figura 3 – Sezione trasversale campata centrale	5
Figura 4 – Dettaglio di appoggio della campata di riva.....	6
Figura 5 – Schema autocarro per la prova di carico.....	7
Figura 6 – Schema di carico nella Fase 2 – sezioni	8
Figura 7 – Schema di carico nella Fase 2 – pianta	9
Figura 8 – Schema di carico nella Fase 3 – sezioni	10
Figura 9 – Schema di carico nella Fase 3 – pianta	10
Figura 10 – Pianta posizionamento dei punti di lettura.....	11
Figura 11 – Modellazione, Vista 3d	13
Figura 12 – Modellazione campata con numerazione frame (vista in pianta)	13
Figura 13 – Modellazione campata con numerazione joint (vista in pianta).....	13
Figura 14 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico in fase 2	15
Figura 15 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico in fase 3	15
Figura 16 – Configurazione deformata in Fase 2	17
Figura 17 – Configurazione deformata in Fase 3	18

1 PREMESSE

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Oggetto della presente relazione è la descrizione delle prove di carico effettuate su uno dei ponti in acciaio che sormontano il canale Milano – Cremona – Po, in corrispondenza degli abitati di Acquanegra Cremonese (CR) e di Crotta d'Adda (CR).



Figura 1 – Inquadramento dell'intervento

Il ponte è isostatico e composto da una campata centrale avente luce pari a 49,10 m, semplicemente appoggiata sulle pile e due minori campate laterali, tra loro identiche e di luce pari a 15,00 m, vincolate con appoggio mobile sulle spalle e a cerniera sulle estremità delle travi centrali.

La realizzazione di un'opera avente tali caratteristiche geometriche è stata propedeutica al raggiungimento dei seguenti scopi:

- 1) Sottrarre la struttura agli effetti di eventuali cedimenti delle fondazioni;
- 2) Sollecitare tutte le sezioni con momento positivo, con conseguente completo sfruttamento del calcestruzzo in compressione ed eliminando il fenomeno di fessurazione della soletta nelle zone di momento negativo;
- 3) Trasmettere alle pile reazioni sempre centrate ed alle spalle sempre positive per qualsiasi disposizione di carico;
- 4) Permettere una maggior semplicità di montaggio.

L'impalcato è costituito da tre travi in acciaio a parete piena, di altezza costante nelle diverse campate, poste ad interasse di 3 m e da traversi, reticolari nella campata centrale, a parete piena in quelle laterali, pure ad interasse 3 m. le travi e i traversi portano una soletta di calcestruzzo armato cui forniscono l'appoggio su campi quadrati di 3 x 3 metri. La soletta inoltre è resa solidale alle travi da appositi ancoraggi e con esse collabora a sopportare le sollecitazioni indotte dai carichi accidentali e permanenti.

Gli apparecchi di appoggio della campata centrale sono realizzati con segmenti di rullo in acciaio. Le campate laterali hanno appoggi metallici in corrispondenza delle cerniere ed in cuscinetti in neoprene armato in corrispondenza delle spalle. Questa soluzione ha permesso di adottare pile di sezione relativamente modesta sottraendole completamente a qualunque azione orizzontale. Ciò vale anche per le loro fondazioni previste a 6 pali diametro 50 cm per profondità fino a 10 m, a 3 pali diametro 80 cm per profondità superiori.

Le due spalle sopportano la reazione verticale delle campate laterali e, grazie alla loro posizione, una debole spinta di terreno da parte del rilevato di accesso al ponte; si ripartiscono inoltre, in ugual misura, le forze orizzontali indotte dal frenamento e dalla non perfetta mobilità degli appoggi in neoprene rispetto alla dilatazione termica. Sono realizzate da 2 pali di diametro 50 cm collegati in testa da una traversa sagomata a sella che porta a sbalzo, alle sue estremità, le due paretine di risvolto. L'aspetto architettonico dell'insieme è stato dettato dall'assoluta funzionalità statica dell'opera. La campata centrale come pure quelle laterali non portano irrigidimenti in vista.

Sezione trasversale campata di riva

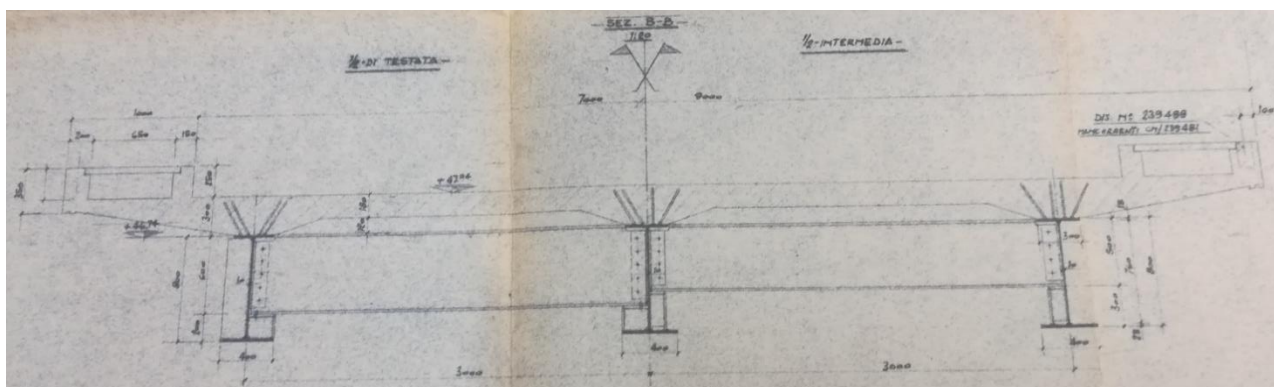


Figura 2 – Sezione trasversale campata di riva

Sezione trasversale campata centrale

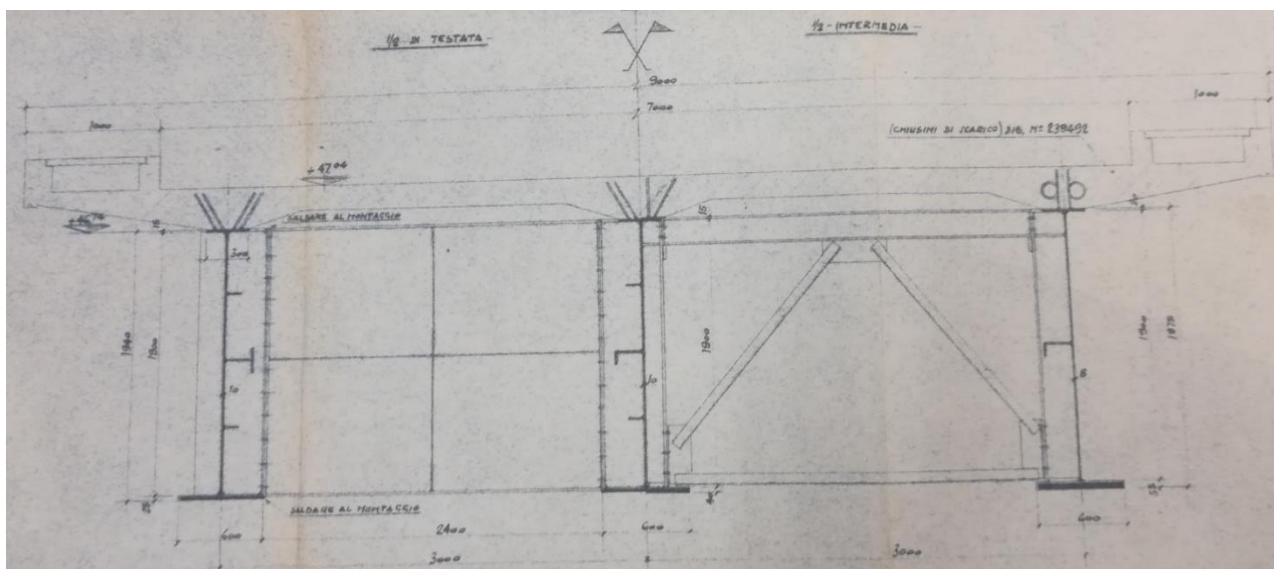


Figura 3 – Sezione trasversale campata centrale

La sede stradale è caratterizzata da due corsie di marcia ciascuna di larghezza pari a 350 cm, affiancate da due marciapiedi laterali di larghezza pari a 100 cm.

Nella figura seguente si schematizza i dettagli dell'appoggio della campata di riva sulla pila intermedia.



Figura 4 – Dettaglio di appoggio della campata di riva

La soletta in calcestruzzo armato ordinario ha uno spessore variabile da 18 a 30 cm, ringrossato in corrispondenza dell'attacco alle travi principali). La soletta è resa solidale e collaborante con la sottostruttura in acciaio tramite connettori, tipo barre, collocati sulla piattabanda superiore delle travi principali.

La sezione longitudinale è segmentata in differenti tipologie di conci, aventi lunghezza variabile. Tali tipologie di conci sono simmetriche rispetto alla mezzeria della campata centrale. Inoltre si specifica che essi sono collegati tramite giunti saldati e tramite un solo giunto bullonato collocato a 8,18 m rispetto all'asse delle pile verso la campata centrale.

Il getto della soletta in calcestruzzo è avvenuto su sostegni provvisori collocati in corrispondenza dei giunti bullonati. In questo modo le sollecitazioni delle fasi di pesi propri sono già assegnate alla sezione mista in seconda fase.

1.2 OBIETTIVO

Scopo della presente relazione è quella di individuare numero e posizione dei mezzi che inducono nell'impalcato delle sollecitazioni confrontabili con quelle previste in progetto, relativamente ai carichi accidentali.

2 SCHEMI DI CARICO

2.1 MEZZI UTILIZZATI

Il mezzo utilizzato è rappresentato nella seguente figura.

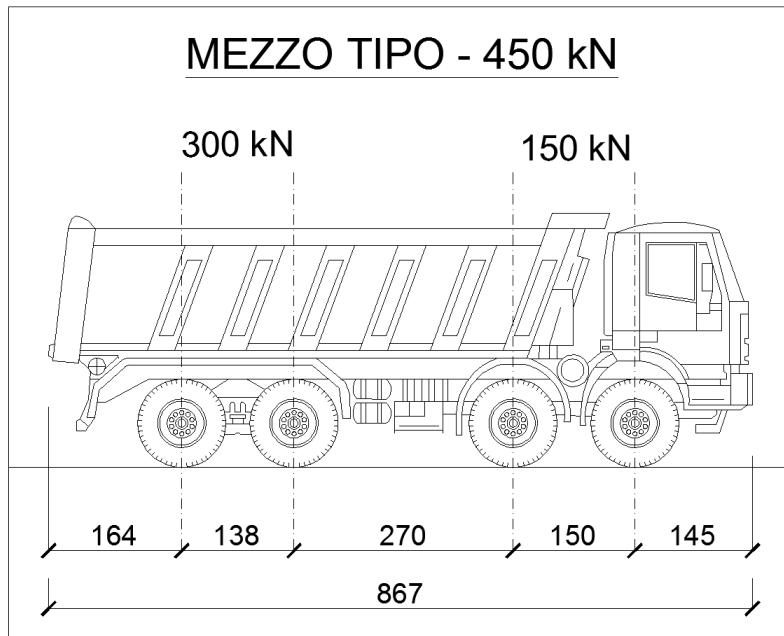


Figura 5 – Schema autocarro per la prova di carico

Le caratteristiche del carico sono:

- Larghezza di ingombro: 2,50 m
- Lunghezza di ingombro: 8,67 m
- Peso a pieno carico: 450 kN
- Peso su mediana A (posteriore): 300 kN
- Peso su mediana B (anteriore): 150 kN

2.2 FASE 1

In questa fase si prevede la lettura iniziale dell'opera scarica (lettura di zero).

2.3 FASE 2

In questa fase si prevede la prova di carico della campata centrale. Essa viene caricata trasversalmente disponendo due autocarri sulla parte più esterna della carreggiata, a 0,50 m dal cordolo di destra percorrendo il ponte in direzione Cremona. Essi si collocano ad una distanza longitudinale di 6,00 m l'uno dall'altro e sono disposti in modo tale da massimizzare il momento flettente in mezzeria della campata. I mezzi sono caricati con il massimo carico applicabile, ossia **450 kN**, per un totale di **900 kN** presenti sull'impalcato, per una disposizione che massimizza lo sbilanciamento. Di seguito si riporta lo schema considerato:

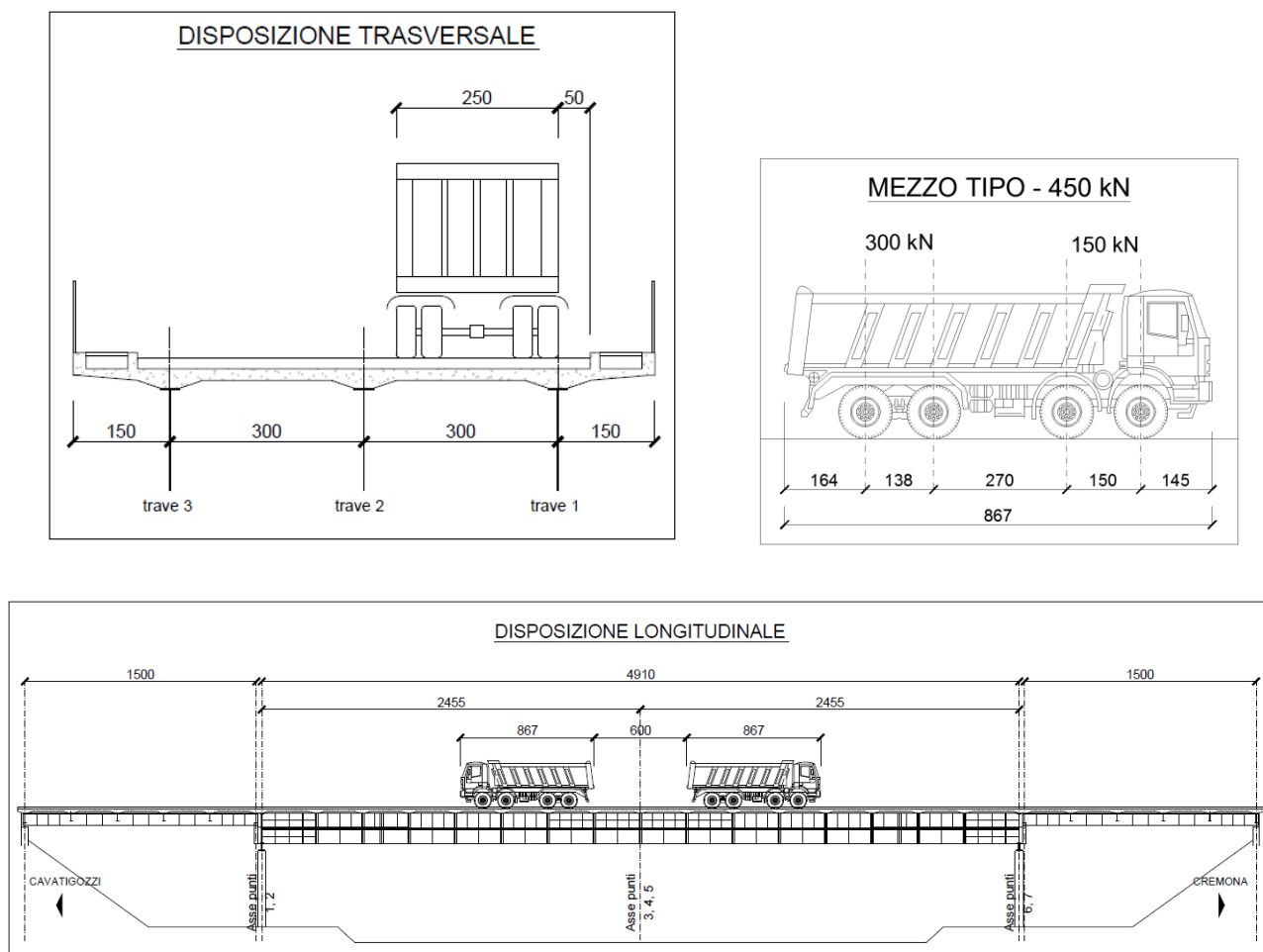


Figura 6 – Schema di carico nella Fase 2 – sezioni

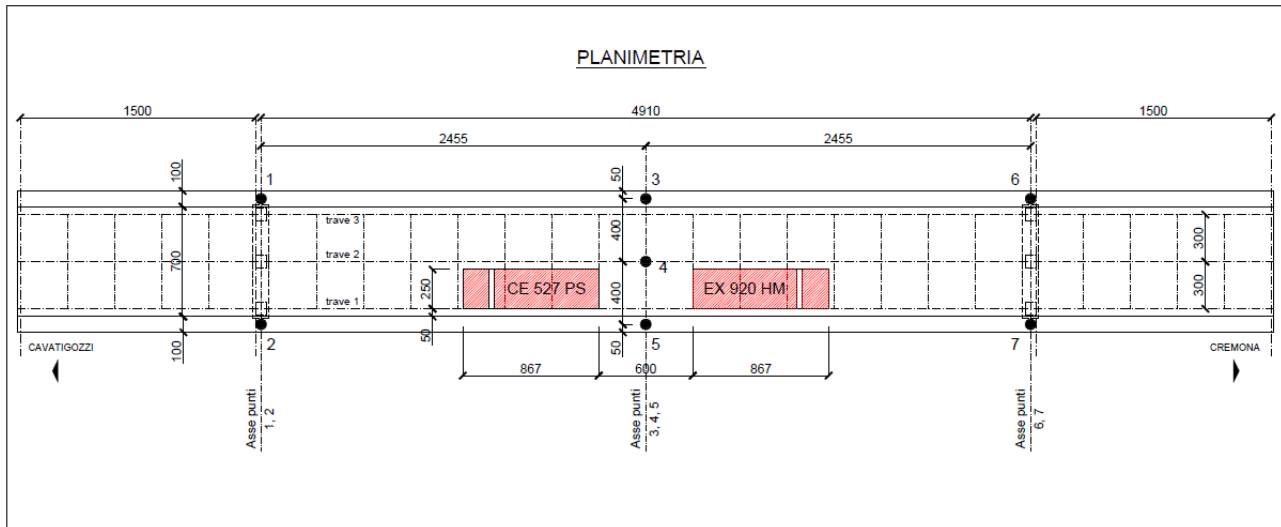
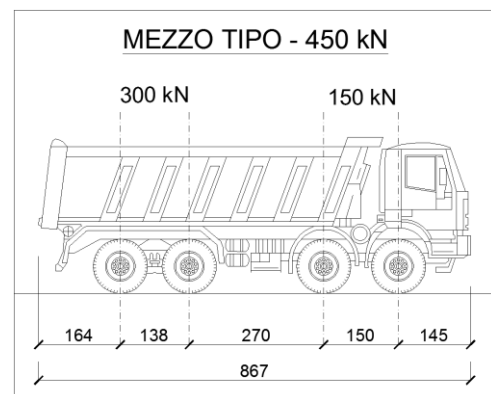
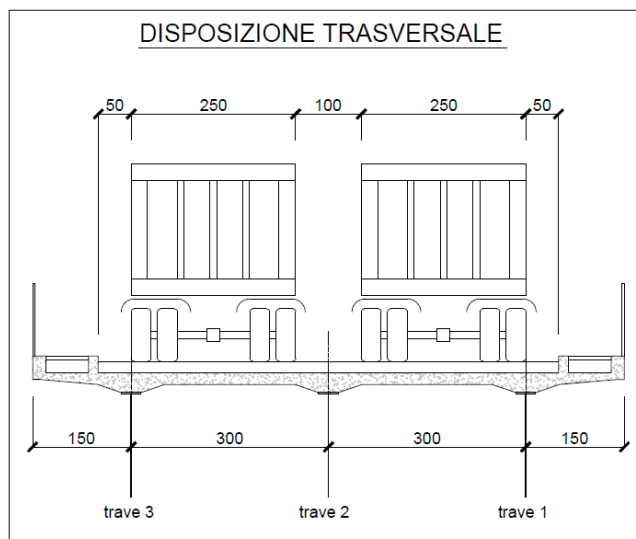


Figura 7 – Schema di carico nella Fase 2 – pianta

2.4 FASE 3

In questa fase si prevede la prova di carico della campata centrale. Essa viene caricata trasversalmente disponendo due autocarri sulla parte più esterna della carreggiata, a 0,50 m dal cordolo di destra percorrendo il ponte in direzione Cremona a cui si aggiungono altri due autocarri trasversalmente distanti 1,00 m rispetto a quelli già presenti sull'impalcato. Essi si collocano ad una distanza longitudinale di 6,00 m l'uno dall'altro e sono disposti in modo tale da massimizzare il momento flettente in mezzeria della campata. I mezzi sono caricati con il massimo carico applicabile, ossia **450 kN**, per un totale di **1.800 kN** presenti sull'impalcato, per una disposizione che massimizza il momento flettente. Di seguito si riporta lo schema considerato:



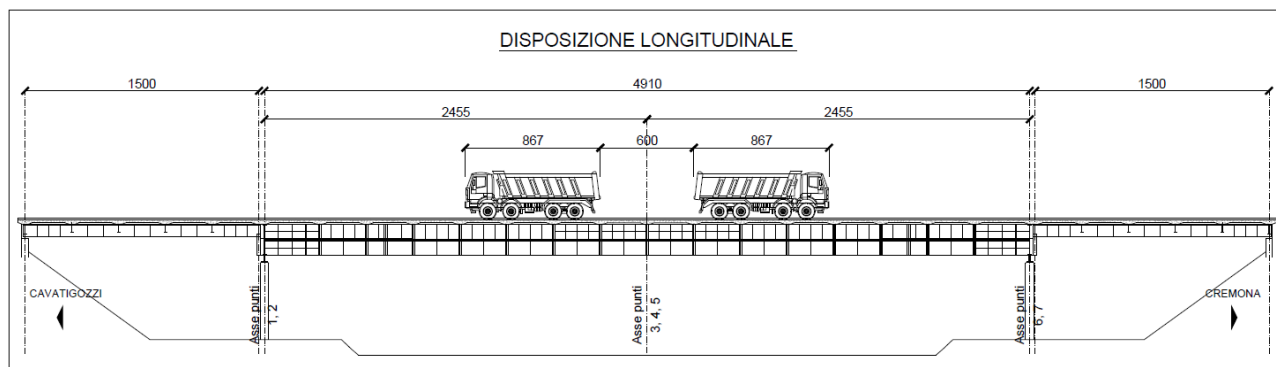


Figura 8 – Schema di carico nella Fase 3 – sezioni

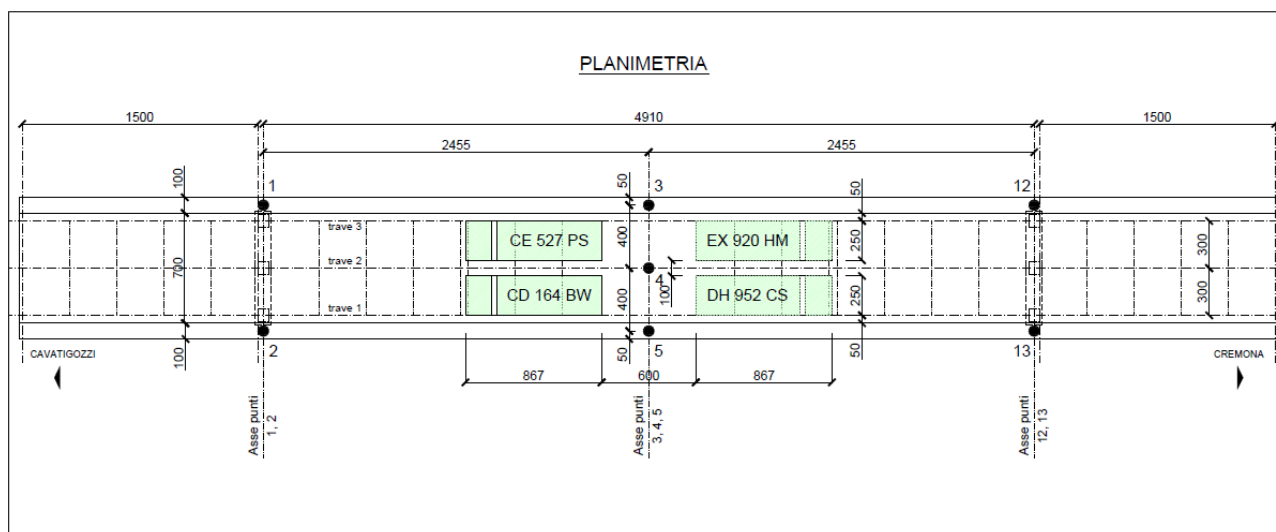


Figura 9 – Schema di carico nella Fase 3 – pianta

2.5 FASE 4

In questa fase si prevede lo scarico completo dell'opera allontanando tutti i mezzi presenti e descritti precedentemente con susseguente lettura ad opera scarica.

2.6 DISPOSIZIONE DEI PUNTI DI MISURA

Si prevede la misurazione degli spostamenti su un totale di 7 punti di misura:

- DUE punti di lettura posizionati in corrispondenza dell'asse della pila lato Cavatigozzi, trasversalmente collocati in corrispondenza dei marciapiedi e distanti tra loro 800 cm. Punti di lettura n. 1, 2.
- TRE punti di lettura posizionati in mezzzeria della campata centrale, trasversalmente centrati rispetto all'asse dell'impalcato e distanti tra loro 400 cm. Punti di lettura n. 3, 4, 5.
- DUE punti di lettura posizionati in corrispondenza dell'asse della pila lato Cremona, trasversalmente collocati in corrispondenza dei marciapiedi e distanti tra loro 800 cm. Punti di lettura n. 6, 7.

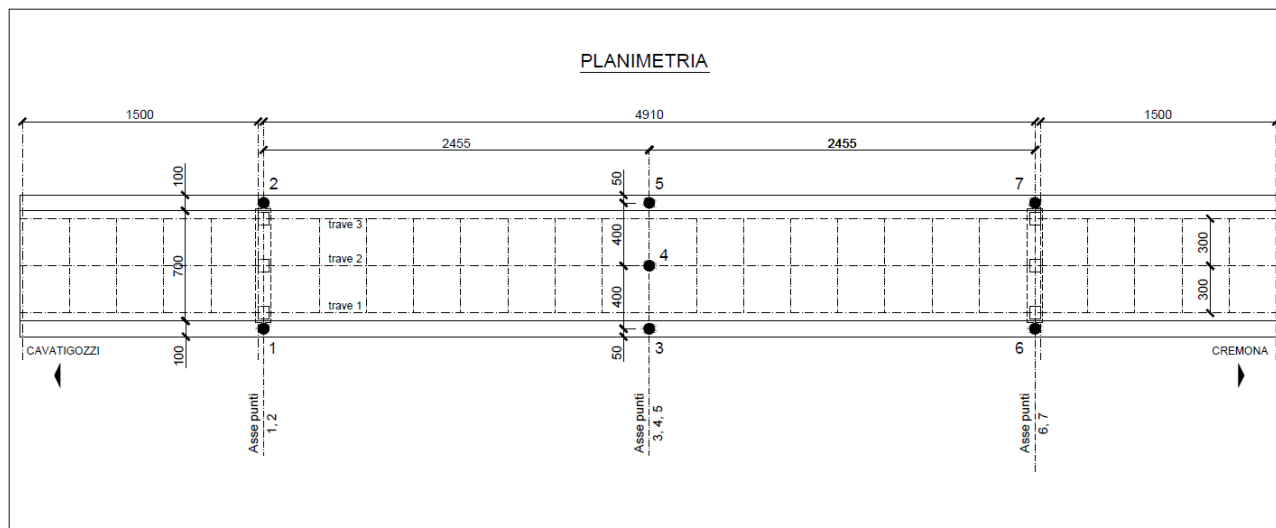


Figura 10 – Pianta posizionamento dei punti di lettura

2.7 PROGRAMMA DI CARICO E MODALITÀ DI LETTURA

Gli incrementi di carico e la misurazione delle deformazioni procederanno secondo il programma riportato successivamente, mentre le misurazioni sono da intendersi eseguite come da precedente paragrafo. Il programma risulta essere perciò così strutturato:

- Lettura a ponte scarico (lettura di Zero);
- Posizionamento mezzi in Fase 2 (2 autocarri) per la prova sulla campata centrale;
- Lettura a carico immediato;
- Lettura a 15;
- Posizionamento mezzi in Fase 3 (2+2 autocarri) per la prova sulla campata centrale;
- Lettura a 15;
- Scarico dell'opera allontanando gli autocarri;
- Lettura a scarico immediato;
- Lettura a opera scarica a 15';

3 MODELLAZIONE

3.1 INFORMAZIONI SUL CODICE DI CALCOLO

Lo scrivente ha esaminato preliminarmente la documentazione a corredo dei software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. Tale documentazione, contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati.

Inoltre, è stata verificata l'affidabilità dei codici di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.



Titolo:

Caratteristiche: Programma di calcolo strutturale agli elementi finiti che esegue il calcolo di strutture spaziali composte da elementi mono e/o bidimensionali anche con non linearità di materiale o con effetti dinamici

Autore: Computers and Structures, Inc. CALIFORNIA
1646 N. California Blvd., Suite 600 Walnut Creek, CA 94596 USA

Distributore: CSI ITALIA Galleria San Marco 4 - 33170 Pordenone - Italia

Versione: 20

3.2 ANALISI FEM

Viene svolta un'analisi per ogni fase di carico caratterizzata da un modello monodimensionale in cui si studia il comportamento dell'impalcato valutando il momento massimo a seconda della posizione e i conseguenti spostamenti previsti nei punti di misurazione. Il programma agli elementi finiti utilizzato è il codice di calcolo SAP 2000.

Le travi principali sono state modellate come elementi frame.

In seguito è stata effettuata un'analisi elastica lineare applicando all'impalcato i carichi trasmessi dai carichi di prova secondo le disposizioni indicate nei paragrafi precedenti.

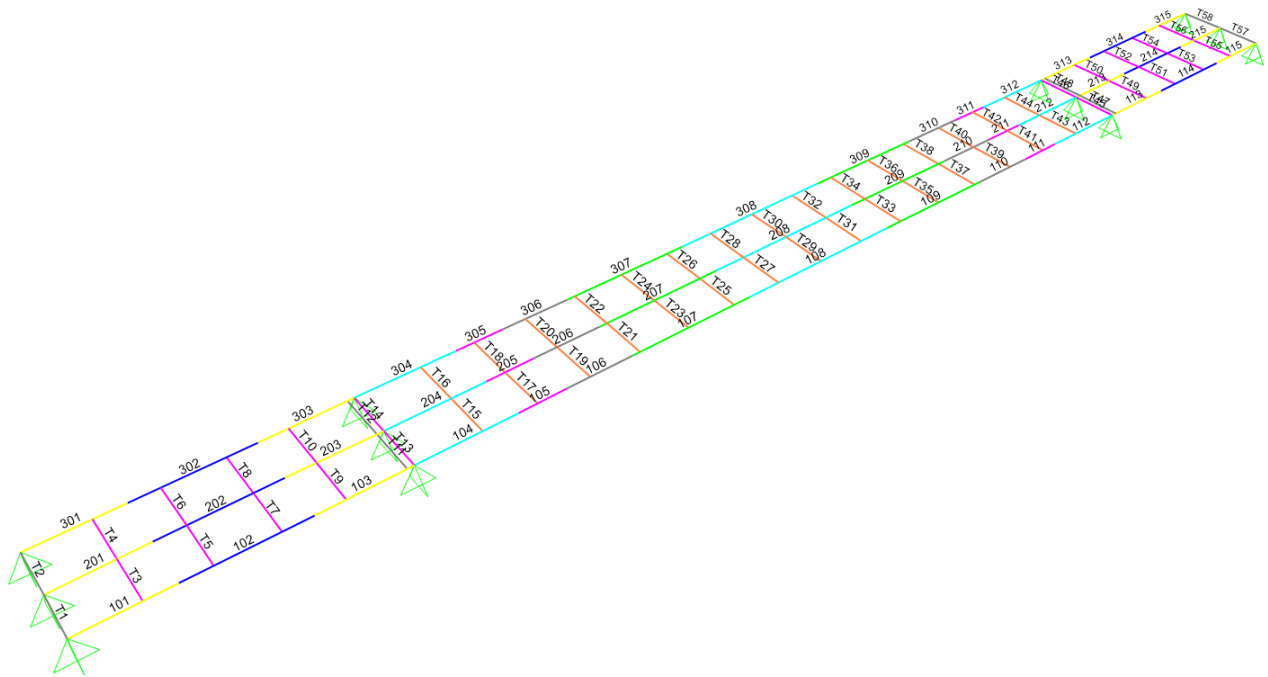


Figura 11 – Modellazione, Vista 3d



Figura 12 – Modellazione campata con numerazione frame (vista in pianta)



Figura 13 – Modellazione campata con numerazione joint (vista in pianta)

4 SOLLECITAZIONI NELLA FASE DI PROGETTO

I valori di sollecitazione sono desunti dalla relazione di calcolo n. 239118/A denominato "Relazione tecnica e calcoli statici", redatto dall'impresa soc. naz. Officine Savigliano Torino.

Si riporta di seguito la tabella specifica dove si svolge un riepilogo delle sollecitazioni per ogni sezione.

3.3. Caratteristiche della sollecitazione.

3.3.1. Momenti flettenti in mezzzeria:

I^a FASE : getto della soletta sulle travi continue su due so-
poggi a 8,18 m. dagli appoggi
stegni provvisori

$$M_I = + \frac{1}{8} 2360 \times 32,74^2 = 316.213 \text{ Kgm} ;$$

II^a FASE: rimozione sostegni provvisori ed esecuzione pavil-
mentazione:

$$M_{II} = + \frac{1}{8} (2360 + 465) \times 49,10^2 = 850.000 \text{ Kgm}$$

SOVRACCARICO ACCIDENTALE:

$$M = \frac{1}{8} (450 + 2910 + 189) \times 49,10^2 = 1.070.000 \text{ Kgm.}$$

3.3.2. Taglio massimo sull'appoggio.

$$I^a \text{ FASE : } T_I = \frac{2360 \times 8,18}{2} = 9652 \text{ Kg}$$

$$II^a \text{ FASE: } T_{II} = \frac{1}{2} (2360 + 465) \times 49,1 = 69500 \text{ Kg}$$

SOVRACCARICO ACCIDENTALE

$$T = \frac{1}{2} (450 + 3120 + 204) \times 49,1 = 92500 \text{ Kg}$$

5 SOLLECITAZIONI IN FASE DI PROVA DI CARICO

5.1 FASE 2

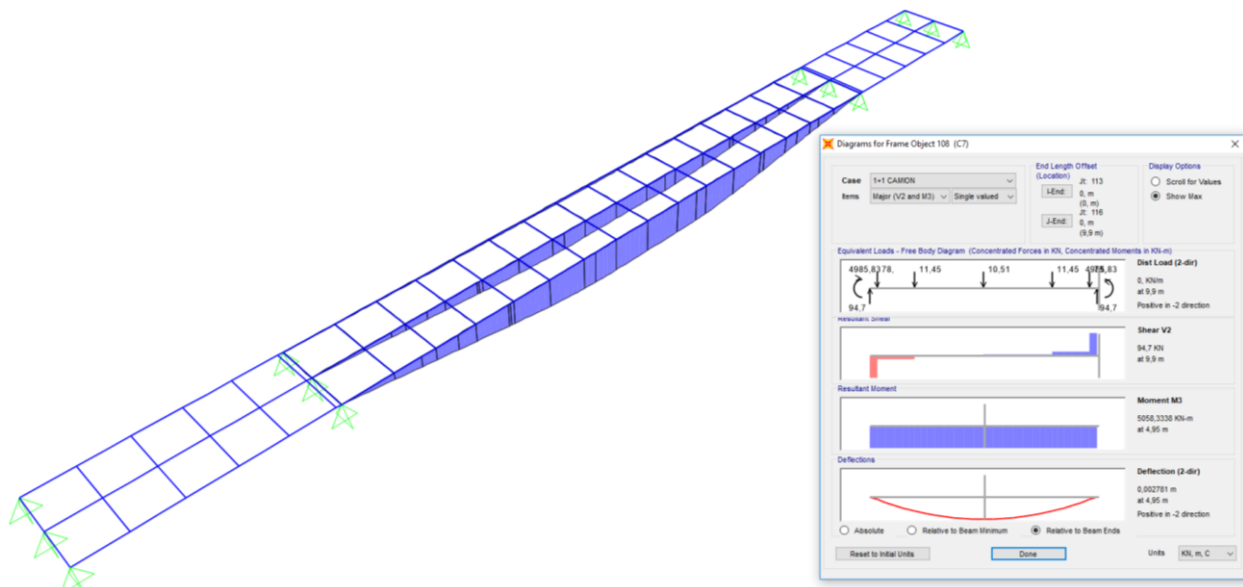


Figura 14 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico in fase 2

Nel dettaglio il momento flettente massimo in mezzeria durante la fase 2 della prova di carico è pari a:
 $M = 5.058,33 \text{ kN m}$ (valore inferiore a 10.700 kN m dichiarato a pagina 9 della relazione di calcolo)

5.2 FASE 3

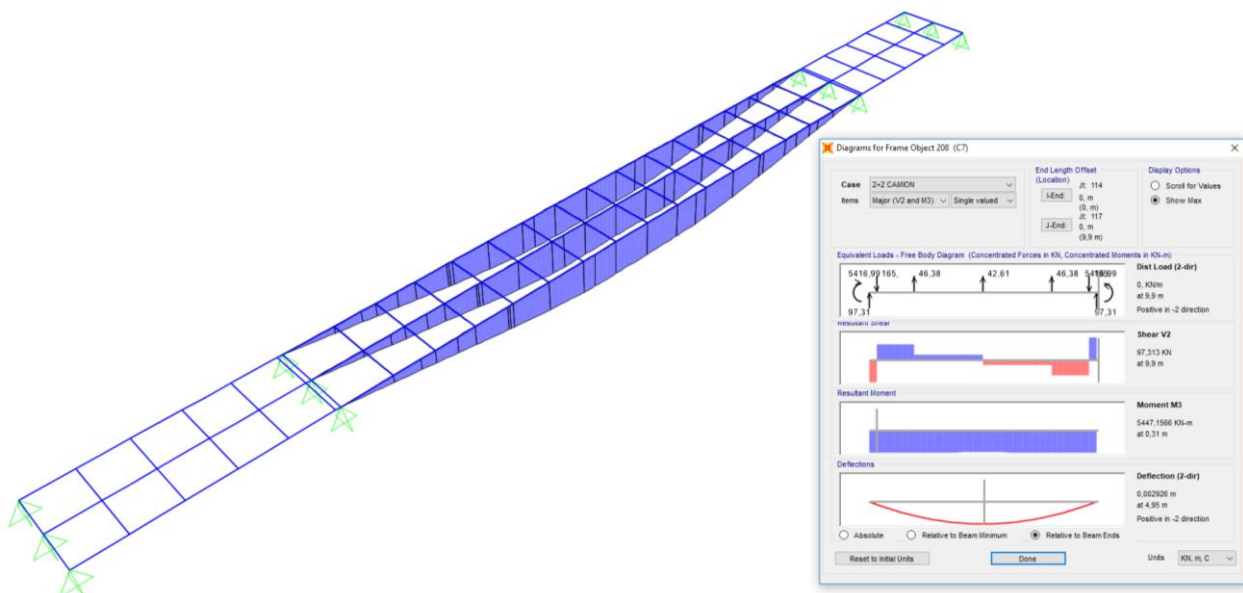


Figura 15 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico in fase 3

Nel dettaglio il momento flettente massimo in mezzeria durante la fase 3 della prova di carico è pari a:
 $M = 5.447,16 \text{ kN m}$ (valore inferiore a 10.700 kN m dichiarato a pagina 9 della relazione di calcolo)

5.3 RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI

Nella tabella seguente si riporta un riepilogo delle sollecitazioni.

Momenti flettenti	Progetto [kN m]	Prova di carico [kN m]	
Fase 2 - Max	10.700	5.058	47,3 %
Fase 3 - Max	10.700	5.447	50,9 %

In tutte le fasi il confronto è stato effettuato secondo il valore caratteristico dei soli carichi accidentali, considerando il fatto che durante la prova di carico sono misurate solo le deformazioni causate dalla presenza dei mezzi.

6 SPOSTAMENTI IN FASE DI PROVA DI CARICO

6.1 FASE 2

In questa fase lo spostamento massimo ottenuto in corrispondenza del punto di lettura n. 5:

Teorico **61,70 mm**

Effettivo **40,58 mm**

La figura seguente riporta la configurazione deformata in Fase 2. Le tabelle seguenti riportano le frecce previste dal modello di calcolo nei punti di misura (si indicano con il segno positivo gli spostamenti verso l'alto).

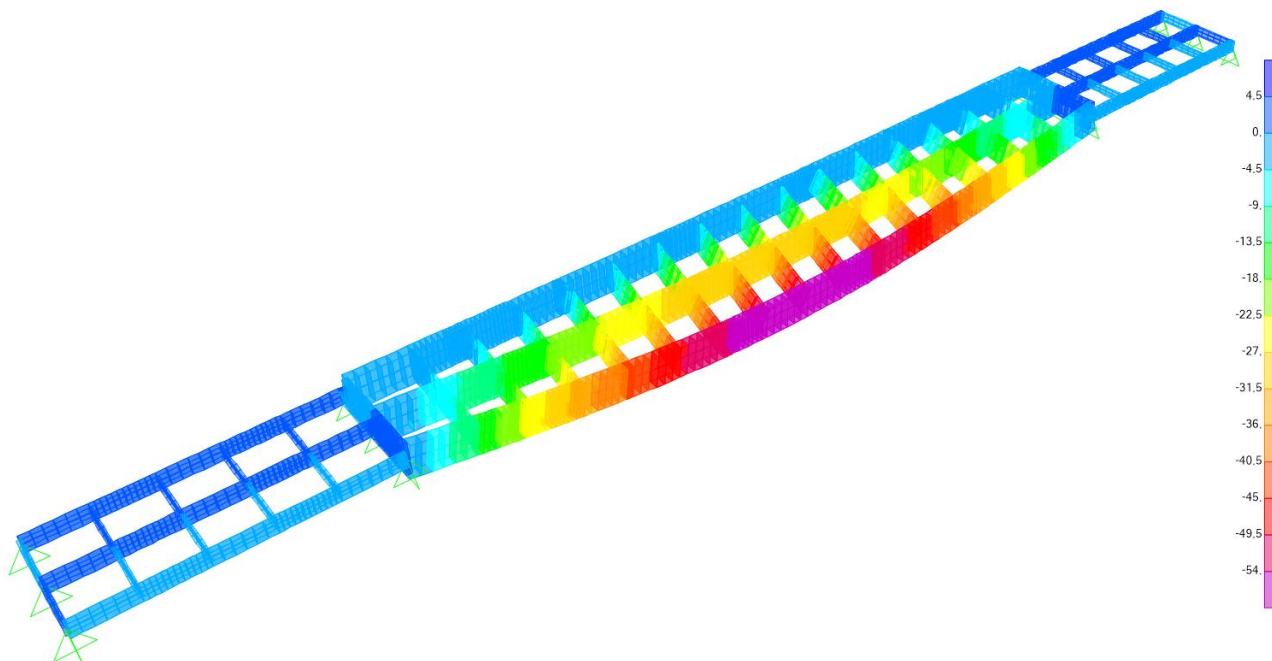


Figura 16 – Configurazione deformata in Fase 2

ABBASSAMENTI		
PUNTI DI LETTURA	CALCOLO(mm)	EFFETTIVI(mm)
1	0,0	0,03
2	0,0	0,72
3	-5,5	7,23
4	30,5	24,17
5	61,7	40,58
6	0,0	-0,05
7	0,0	1,08

6.1 FASE 3

In questa fase lo spostamento massimo ottenuto in corrispondenza del punto di lettura n. 4:

Teorico **60,90 mm**

Effettivo **47,94 mm**

La figura seguente riporta la configurazione deformata in Fase 3. Le tabelle seguenti riportano le frecce previste dal modello di calcolo nei punti di misura (si indicano con il segno positivo gli spostamenti verso l'alto).

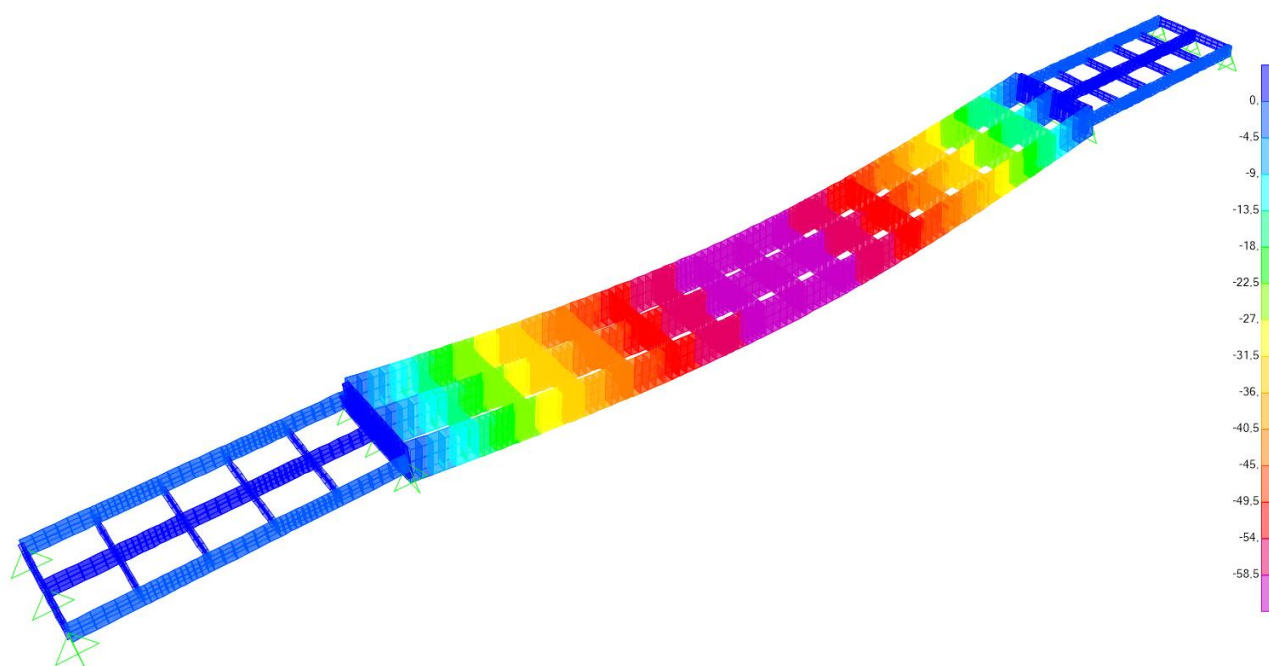


Figura 17 – Configurazione deformata in Fase 3

ABBASSAMENTI		
PUNTI DI LETTURA	CALCOLO(mm)	EFFETTIVI(mm)
1	0,0	0,50
2	0,0	0,54
3	60,7	47,76
4	60,9	47,94
5	60,7	47,79
6	0,0	0,67
7	0,0	0,81