



# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

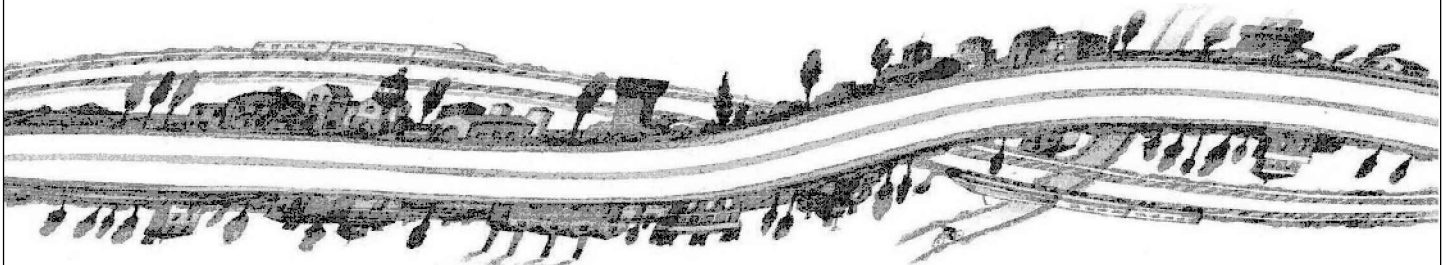
## PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE D04-08 (ex 1FE)  
Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana  
OPERE STRUTTURALI**

**OPERE D'ARTE MAGGIORI - VIADOTTI E PONTI - D08 (EX 1FE - TRATTO D)**

**DPO12 - PONTE SUL COLLETTORE BURANA**

**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO - IMPALCATO**



IL PROGETTISTA

**Alpina S.p.A.**  
Dott. Ing. Marco Bonfanti  
Ordine Ingegneri di Milano  
n. A/23384

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio-Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

*G. Pattuzzi*

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				Ing. Illuminati	Ing. Bonfanti	Ing. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: <b>MAGGIO 2012</b>
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
5661	PD	0	D08	DPO12	D	OM	RC	02	A	



## I N D I C E

<b>1. DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>7</b>
<b>4. INCIDENZE .....</b>	<b>8</b>
<b>5. SOFTWARE DI CALCOLO .....</b>	<b>9</b>
<b>6. CRITERI DI CALCOLO .....</b>	<b>10</b>
6.1. FASI REALIZZATIVE.....	10
6.2. MODELLAZIONE UTILIZZATA .....	11
<b>7. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPALCATO.....</b>	<b>14</b>
7.1. ANALISI DEI CARICHI .....	14
7.1.1. PESO PROPRIO.....	14
7.1.2. CARICHI PORTATI .....	15
7.1.3. CARICO DA VENTO .....	16
7.1.3.1 Vento a ponte scarico .....	16
7.1.3.2 Vento a ponte carico .....	16
7.1.4. VISCOSITA' E RITIRO .....	17
7.1.5. CARICO TERMICO .....	17
7.1.6. CEDIMENTI VINCOLARI .....	17
7.1.7. AZIONI PARASSITE .....	17
7.1.8. AZIONE SISMICA (STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)).....	18
7.1.9. AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO.....	29
7.1.9.1 LM1 (SLU) – Schema Di Carico.....	31
7.1.9.2 Azione longitudinale di frenamento o accelerazione .....	32
7.1.9.3 Azione centrifuga .....	32
7.2. COMBINAZIONI DI CARICO.....	33
7.3. RISULTATI DELL'ANALISI.....	44
7.3.1. SOLLECITAZIONI .....	44
7.3.2. DEFORMAZIONI.....	50
7.3.3. VINCOLI.....	52
7.4. VERIFICHE DEL CASSONE METALLICO .....	52
7.4.1. VERIFICA IN FASE 1 (SEZIONE SOLO ACCIAIO) .....	52

7.4.2.	VERIFICA DELLA SEZIONE COMPOSTA ACCIAIO – CALCESTRUZZO (FASE 2) .....	55
7.4.2.1	<i>Bending resistance</i> .....	55
7.4.2.2	<i>Resistance to vertical shear</i> .....	58
7.4.2.3	<i>Resistance to longitudinal shear</i> .....	59
7.4.2.4	<i>Verifica a deformabilità</i> .....	60
<b>8.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE CURVA.....</b>	<b>62</b>
8.1.	ISOLATORI DI SPALLA .....	62
<b>9.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO GIUNTO DI DILATAZIONE .....</b>	<b>63</b>
<b>10.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEI CONTROVENTI IN ACCIAIO .....</b>	<b>64</b>
10.1.	MODELLAZIONE.....	64
10.2.	CARICHI AGENTI.....	66
10.3.	SOLLECITAZIONI .....	81
10.4.	VERIFICHE.....	82
10.4.1.	Tensioni.....	82
10.4.2.	Stabilità.....	84
<b>11.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLA SOLETTA IN CEMENTO ARMATO .....</b>	<b>88</b>
11.1.	MODELLAZIONE E CARICHI .....	88
11.2.	SOLLECITAZIONI .....	91
11.3.	VERIFICHE.....	93
<b>12.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLE PREDALLES .....</b>	<b>99</b>
<b>13.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE ROMPITRATTA.....</b>	<b>104</b>

## 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

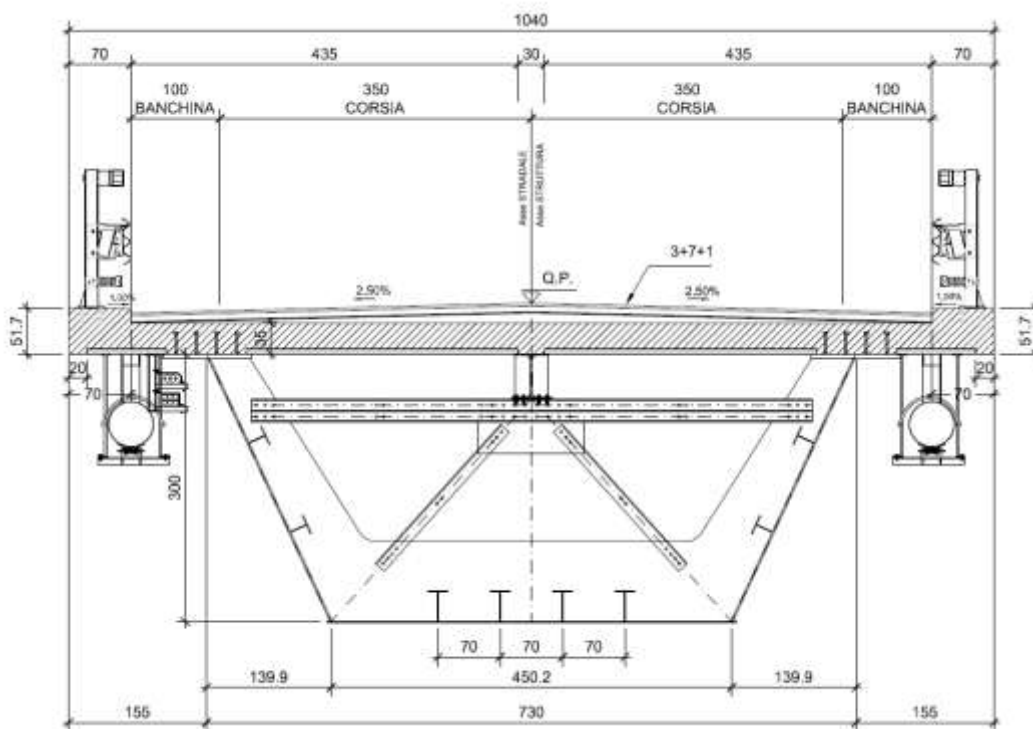
La presente parte della relazione è volta al dimensionamento e alla verifica dell'impalcato metallico del ponte sul canale Burana inserito nella realizzazione della viabilità denominata "Bondeno-Cento" di adduzione all'Autostrada Regionale Cispadana.

L'opera in oggetto è un ponte in acciaio-calcestruzzo costituito da un'unica campata di luce 60.00 metri.

L'opera è costituita da una sola carreggiata stradale, si larghezza costante pari a 9.00 ml. A lato della carreggiata sono presenti due cordoli di dimensioni 0.70 ml per l'infissione della barriera stradale.

La soletta di calcestruzzo ha quindi larghezza di 10.40 ml. Il cassone di acciaio del ponte ha altezza pari a 3.00 ml, larghezza massima di 7.30 ml e minima di circa 4.50 ml.

Le immagini seguenti mostrano la geometria dell'impalcato. Per elementi di maggior dettaglio si può fare riferimento agli elaborati grafici del presente progetto.



**FIGURA 1-1 SEZIONE TRASVERSALE TIPICA**

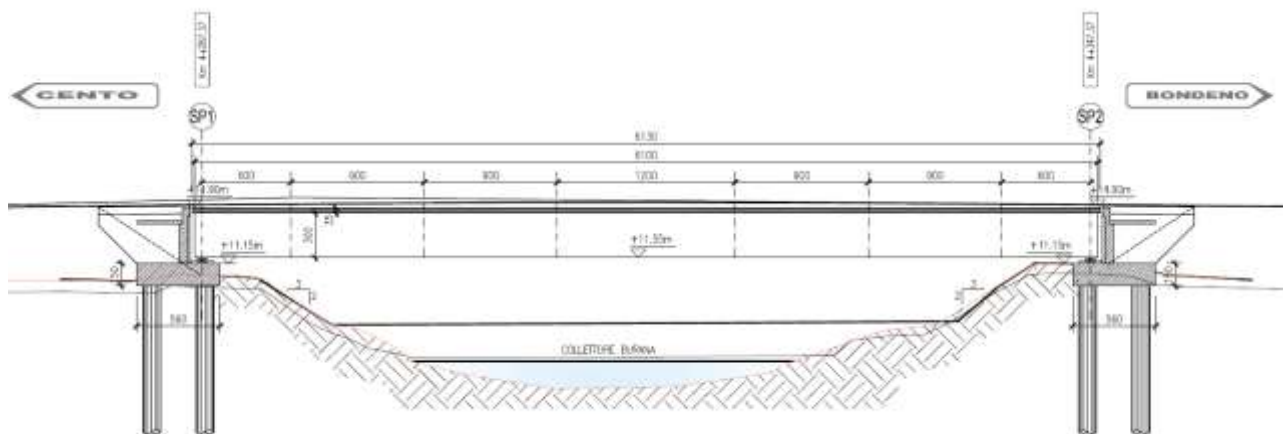


FIGURA 1-2 PROFILO DELL'IMPALCATO

L'asse stradale in corrispondenza dell'impalcato si sviluppa in rettilineo con pendenza trasversale a schiena d'asino pari al 2.5%.

E' presente un piccolo allargamento per visibilità della banchina alla fine del ponte in corrispondenza della spalla SP2 che causa un allargamento del muro d'ala sulla spalla ma non modifiche sull'impalcato.

L'impalcato è costituito da un cassone di altezza pari a 3.00 ml sul quale poggia una soletta di calcestruzzo di spessore 35 cm.

Il cassone presenta anime inclinate. Al centro della soletta è inserita una trave rompi tratto per spezzare la luce della stessa, vincolata ai controventi trasversali.

A interasse pari a 3.50 ml sono previsti controventamenti trasversali realizzati con profili ad L per i correnti superiori e per i diagonali, mentre per l'irrigidimento delle anime e delle piattabande si prevedono costole metalliche a loro volta irrigidite da elementi longitudinali.

Il sistema di vincolamento della struttura è realizzata da isolatori a scorrimento a superficie curva.

La vita nominale dell'opera è pari a 50 anni e rientra in una classe d'uso III.

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

---

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore elencate nell'elaborato PD\_0\_0000\_0000\_GE\_KT\_01 - ELENCO NORMATIVE DI RIFERIMENTO.

### **3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

---

I materiali impiegati e le proprietà meccaniche sono descritti nell'elaborato PD\_0\_0000\_0000\_0\_GE\_TB\_01 - TABELLA MATERIALI E CLASSI DI ESPOSIZIONE CALCESTRUZZO.



## 4. INCIDENZE

Si forniscono qui di seguito le incidenze d'armatura relative ai singoli elementi costituenti l'Opera:

Cod Wbs	Parte d'opera	Incidenza kg/mc											Incidenza kg/mq	
		Pali	Diaframmi	Diaframmi Idraulici	Trave di coronamento Diafr. Idraulici	Fondazione	Elevazione	Pulvino	Baggioli e ritegni	Soletta di transizione	Soletta Marciapiede su Spalla	Soletta (escluso predalles)		Traverso
D08-PO12 Burana	IMPALCATO ACCIAIO										100	140		410

## **5. SOFTWARE DI CALCOLO**

---

Il calcolo agli elementi finiti è stato utilizzato il software "Midas Civil 2012, versione 1.1".

Il modello è stato realizzato con elementi beam (elementi tipo trave) a comportamento misto.

Il cassone, infatti, viene realizzato come "beam" avente sezione composta acciaio-calcestruzzo. Nel proseguo verranno identificati tali elementi.

Il programma utilizzato permette un ottimale modellazione delle azioni variabili da traffico (capitolo 5 delle NTC 2008) tramite l'utilizzo di un carico mobile e la progettazione secondo EC4 delle travate principali a sezione composta acciaio-calcestruzzo.

Per quanto concerne le verifiche degli elementi strutturali non a sezione mista esse verranno effettuate mediante l'utilizzo di altri programmi o manualmente.

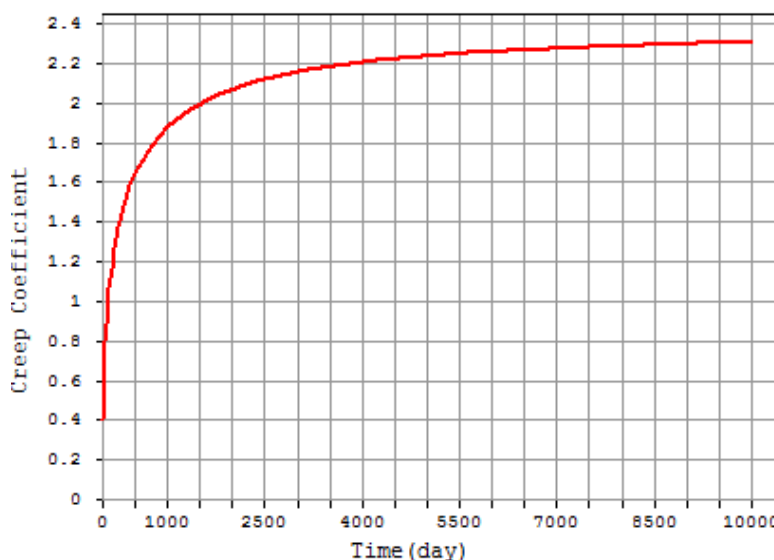
Nei capitoli seguenti verranno spiegate nei dettagli il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali impiegati.

## 6. CRITERI DI CALCOLO

### 6.1. FASI REALIZZATIVE

Come già esposto precedentemente il sistema costituente l'impalcato è di tipo misto acciaio-calcestruzzo. La modellazione, corrispondente alla reale costruzione dell'opera, sarà pertanto divisa per fasi, che presentano diversi carichi agenti e diverse rigidezze degli elementi strutturali.

- **FASE 0:** la struttura è costituita dai soli elementi di acciaio, ossia dal cassone e dai controventi. Il solo carico agente è il peso proprio della struttura metallica e, ad essa, corrisponde l'area resistente.
- **FASE 1:** in questa fase avviene il getto della soletta. La struttura metallica della fase precedente viene sollecitata dal carico della soletta in cemento armato. La sola struttura metallica dovrà essere in grado di assorbire il peso della soletta in fase di getto.
- **FASE 2:** alla struttura metallica si aggiunge la resistenza della soletta in cemento armato. Dopo un adeguata maturazione del calcestruzzo la struttura resistente è di tipo misto acciaio-calcestruzzo. I carichi agenti sono quelli di normativa, compresi quelli stradali, che verranno descritti in seguito. In questa fase vengono tenuti in considerazione i fenomeni di viscosità e ritiro del calcestruzzo come da NTC 2008 (vedi immagine).



## 6.2. MODELLAZIONE UTILIZZATA

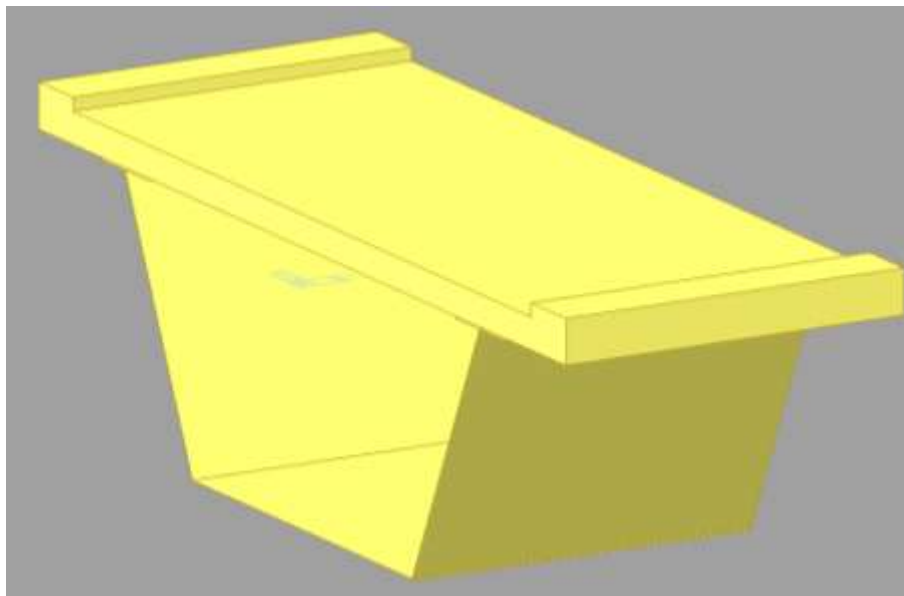
L'impalcato è modellato tramite l'utilizzo di aste aventi sezione corrispondente al cassone misto acciaio-calcestruzzo e aventi lunghezza pari ai conci dell'impalcato.



**FIGURA 6-1 NUMERAZIONE ASTE DELL'IMPALCATO**



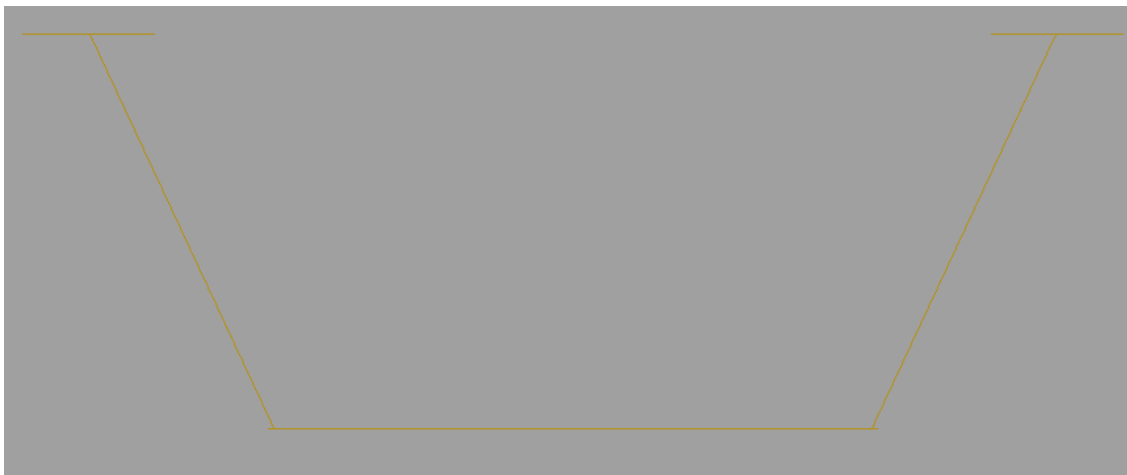
**FIGURA 6-2 SEZIONE TIPOLOGICA UTILIZZATA**



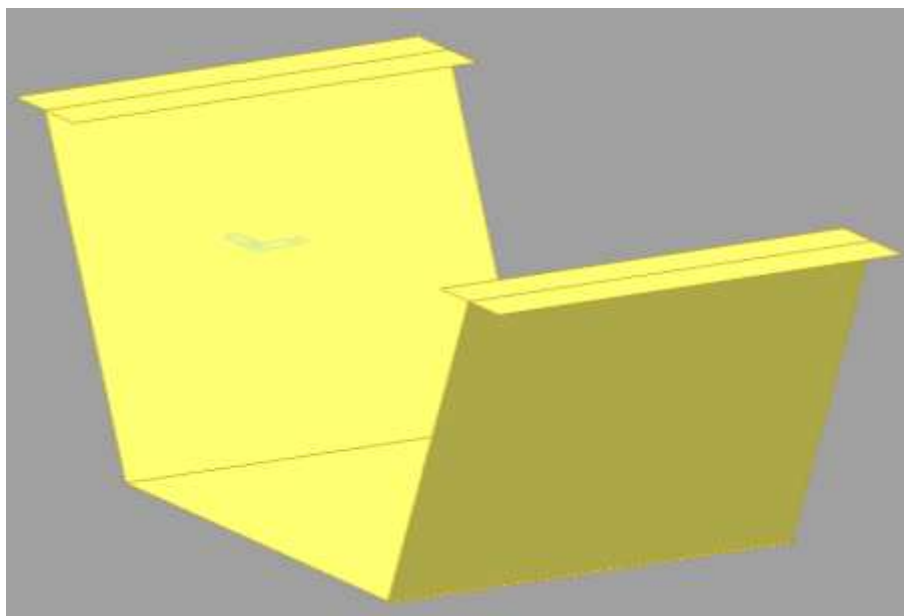
**FIGURA 6-3 SEZIONE TIPOLOGICA UTILIZZATA**

Per le varie sezioni utilizzate si vedano gli elaborati specifici.

Come descritto in precedenza il programma permette una modellazione per fasi. In una prima fase sarà presente solo il cassone in acciaio, mentre in una seconda fase nascerà la soletta in calcestruzzo.

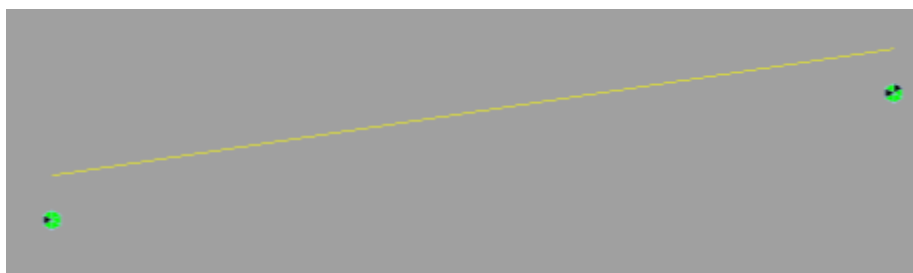


**FIGURA 6-4 SEZIONE SOLO ACCIAIO DI PRIMA FASE**



**FIGURA 6-5 SEZIONE SOLO ACCIAIO DI PRIMA FASE**

Per quanto concerne il sistema di vincolamento l'impalcato viene modellato come trave continua su più appoggi come mostra l'immagine sotto riportata. Si sono utilizzati vincoli rigidi elastici per trasmettere le azioni dal baricentro della struttura alla reale posizione del sistema di vincolamento.



**FIGURA 6-6 VINCOLI**

Non sono stati inseriti isolatori a scorrimento nella modellazione dell'impalcato.

In base alle sollecitazioni ottenute da questa modellazione si procederà al dimensionamento del sistema di isolamento.

Esso verrà inserito nella modellazione delle sottostrutture. Infatti sono le spalle che sono maggiormente influenzate dall'utilizzo o no di isolatori sismici.

Si rimandano a capitoli successivi e alla relazione delle sottostrutture precisazioni in merito.

## 7. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPALCATO

---

### 7.1. ANALISI DEI CARICHI

---

Nel presente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche di resistenza.

I carichi sotto esposti verranno poi opportunamente combinati secondo la normativa vigente.

#### 7.1.1. PESO PROPRIO

In seguito si riassumono i pesi propri dell'impalcato metallico distinti (fase 0 e fase 1) e della soletta collaborante (nascente in termini di resistenza in fase 2).

Il peso proprio del cassone viene calcolato automaticamente dal programma.

- peso cassone metallico (calcolo automatico)  $78.50\text{KN/mc} \cdot 0.28\text{mq} \cdot 60.00\text{ml} = 1318.80 \text{ KN}$  circa

Il peso dei controventi è inserito in fase 0 come carico portato in quanto essi non rientrano nella modellazione.

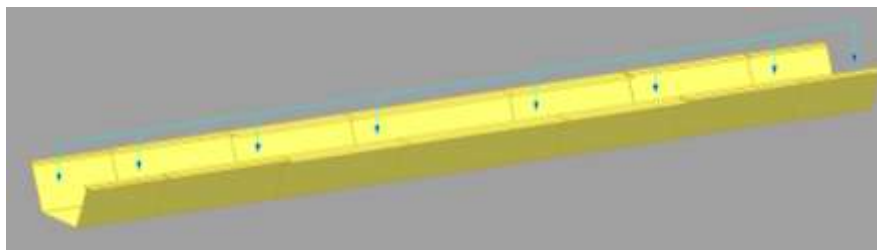
Si assume come peso comprensivo di irrigidimenti, controventi, piolature, etc.. un carico pari a 10 KN/ml.

- peso acciaio (inserito in fase 0)  $10.00\text{KN/ml} \cdot 60.00\text{ml} = 600.00 \text{ KN}$

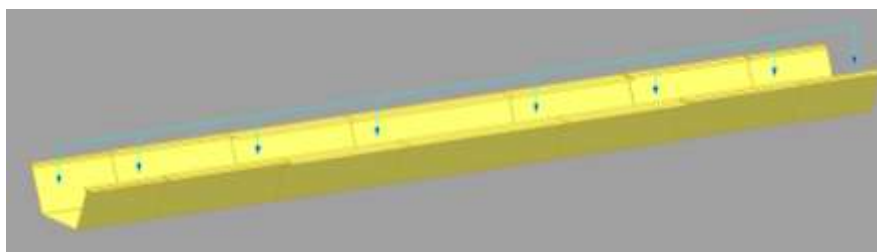
Il peso della soletta viene inserito come carico in fase 1. Il getto della soletta è a carico delle travi in quanto in questa fase la soletta non ha ancora resistenza.

- peso soletta in cls (inserito in fase 1)  $25.00\text{KN/mc} \cdot 4.00\text{mq} \cdot 60.00\text{ml} = 6000.00 \text{ KN}$

Le immagini seguente mostrano l'inserimento dei carichi non automatici sopra esposti.



**FIGURA 7-1 PESO ACCIAIO**

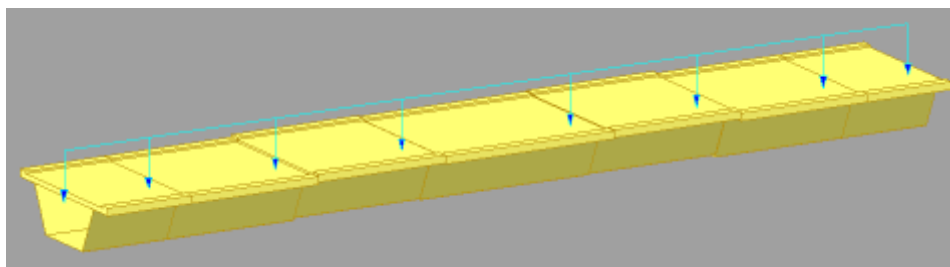


**FIGURA 7-2 GETTO SOLETTA**

### **7.1.2. CARICHI PORTATI**

Si assume come carico permanente comprensivo di pavimentazione stradale, dei guard-rail, delle velette laterali, delle strutture reggi impianti, etc, un carico lineare di 70 KN/ml.

L'immagine seguente ne mostra l'inserimento nella modellazione. Trattandosi di un progetto definitivo il carico è stato inserito in asse struttura.



**FIGURA 7-3 CARICHI PORTATI**

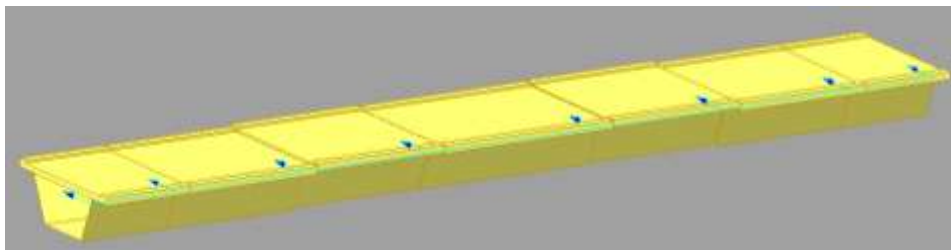


### 7.1.3. CARICO DA VENTO

Il calcolo della pressione del vento è effettuata in ottemperanza alle NTC 2008. Si assume come pressione un carico di 1KN/mq.

I sottoparagrafi trattano nello specifico il calcolo del vento nelle due fasi (ponte scarico e ponte carico).

L'immagine seguente mostra l'inserimento del carico suddetto nella modellazione. Il carico viene inserito con eccentricità verticale rispetto al baricentro della trave per simularne meglio il comportamento.



**FIGURA 7-4 CARICO DA VENTO**

#### 7.1.3.1 Vento a ponte scarico

L'altezza totale sulla quale agisce il carico da vento risulta essere:

$$htot = 3.00 + 0.35 + 0.16 + 2.00 \text{ (trave + soletta + cordolo + parapetto)} = 5.51 \text{ ml}$$

Il carico da vento risulta quindi:

$$qv = 1.00 \text{ KN/mq} \times 5.51 \text{ ml} = 5.51 \text{ KN/ml}$$

#### 7.1.3.2 Vento a ponte carico

L'altezza totale sulla quale agisce il carico da vento risulta essere:

$$htot = 3.00 + 0.35 + 0.11 + 3.00 \text{ (trave + soletta + pavimentazione + veicolo)} = 6.46 \text{ ml}$$

Il carico da vento risulta quindi:

$$qv = 1.00 \text{ KN/mq} \times 6.46 \text{ ml} = 6.46 \text{ KN/ml}$$

#### **7.1.4. VISCOSITA' E RITIRO**

Come indicato in precedenza il ritiro viene calcolato in automatico dal programma.

Il calcolo è effettuato partendo dalle indicazioni riportate al punto 11.2.10.6 delle NTC 2008.

In particolare sono stati impostati i seguenti parametri:

- Umidità relativa: 60%
- $f_{ck} = 28.00$  MPa

#### **7.1.5. CARICO TERMICO**

Le variazioni termiche sono state considerate partendo dalle indicazioni riportate al punto 3.5.4 delle NTC08 ma seguendo anche l'Eurocodice 1 che tratta nello specifico la temperatura sugli impalcati da ponte.

Prendendo dalle NTC 2008 la temperatura minima e massima all'ombra e dall'Eurocodice la modalità di applicazione dei carichi otteniamo tre diverse tipologie di temperatura

- TEMPERATURA UNIFORME POSITIVA = 44 °C
- TEMPERATURA UNIFORME NEGATIVA = -36 °C
- TEMPERATURA DIFFERENZIALE applicata solo sulla soletta = 10 °C

#### **7.1.6. CEDIMENTI VINCOLARI**

Secondo le indicazioni fornite dalle elaborazioni geotecniche sarebbe ragionevole ipotizzare cedimenti vincolari minimi ma poiché la loro incidenza percentuale in riferimento alle massime sollecitazioni agenti in condizione statica (SLU) risulta minima si ritiene opportuno trascurare tale carico e rimandarne lo studio in fase di progetto esecutivo.

#### **7.1.7. AZIONI PARASSITE**

Per quanto riguarda le combinazioni di carico in condizione statica, fino a quando le azioni orizzontali trasmesse dall'impalcato ai dispositivi di vincolamento risultano inferiori alle forze d'attrito, i dispositivi si

comportano come collegamenti rigidi; una volta superato tale valore di forza, si comportano come collegamenti elastici di rigidezza crescente all'aumentare dall'azione assiale agente (diversa da combinazione a combinazione) e al diminuire dello spostamento orizzontale (anch'esso diverso tra una combinazione di carico e l'altra).

Dal momento però che la condizione dimensionante per le sottostrutture è quella sismica, si considera superflua l'ipotesi di approfondire tale problematica in quanto non vincolante ai fini del dimensionamento.

Si rimanda alla fase esecutiva la valutazione di suddette azioni.

#### **7.1.8. AZIONE SISMICA (STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV))**

Il calcolo dell'azione sismica e del relativo spettro di risposta viene effettuato in ottemperanza delle norme vigenti, il DM 14/01/2008 e successive modifiche ed integrazioni.

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, i cui requisiti di sicurezza sono indicati nel § 7.1 della norma.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno;
- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel § 7 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Per Stato Limite di Danno (SLD) s'intende che l'opera, nel suo complesso, a seguito del terremoto, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non provocare rischi agli utenti e non compromette significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali. Lo stato limite di esercizio comporta la verifica delle tensioni di lavoro, in conformità al § 4.1.2.2.5 (NTC).

Per Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si intende che l'opera a seguito del terremoto subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni di componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidezza) nei confronti delle azioni verticali.

Gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Le norme tecniche (DM 14/01/2008) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture.

Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che potrebbero verificarsi nell'area.

Affinché l'azione sismica sia valutata correttamente ed attentamente i risultati di un buon studio sismico portano ad avere i seguenti valori:

- valore dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  ;
- caratteri per la definizione degli spettri di progetto quali, per esempio, caratteristiche geologiche o strutturali;
- determinazione degli stati limite e delle relative probabilità di superamento;
- determinazione, tramite un reticolo fitto di punti delle tre componenti principali per la definizione dell'azione sismica, quali  $a_g$ ,  $T_0$ ,  $T_c^*$ ;

Si riassumono sinteticamente di seguito i valori che verranno utilizzati per il calcolo degli spettri.

In ottemperanza alla Circolare esplicativa delle NTC 2008 l'opera sarà verificata con due spettri diversi corrispondenti a due diversi stati limite:

- SLV spettro allo stato limite di salvaguardia alla vita ottenuto con una probabilità di superamento pari al 10%
- SLD spettro allo stato limite di danno ottenuto con una probabilità di superamento pari al 63%

Per il dimensionamento degli isolatori verrà utilizzato, come prescritto dalla normativa vigente lo stato limite di collasso (SLC):

- SLC spettro allo stato limite di collasso ottenuto con una probabilità di superamento pari al 5%

Stati Limite		$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**TABELLA 7.1.8-1 PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PVR AL VARIARE DELLO STATO LIMITE CONSIDERATO**

Secondo le norme tecniche in presenza di azioni sismiche le opere risultano divise in classi d'uso:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'opera oggetto della presente relazione si adotta una classe d'uso III alla quale corrisponde (vedi tabella seguente) un coefficiente d'uso  $c_u$  pari a 1.50.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

**TABELLA 7.1.8-2 VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO  $C_U$**

La vita nominale di un'opera strutturale  $N_V$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella seguente.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

**TABELLA 7.1.8-3 VITA NOMINALE  $V_N$  PER DIVERSI TIPI DI OPERE**

Per l'opera oggetto della presente relazione si adotta una vita nominale  $V_N$  di 50 anni.

L'opera è sita nella provincia di Ferrara, ad una longitudine di 11.385 e latitudine di 44.8976.





Questi valori definiscono mediante interpolazione le caratteristiche del sito in termini di accelerazione massima attesa e periodi. La tabella seguente mostra i risultati per l'opera oggetto della presente relazione.

SLATO LIMITE	$T_{Rl}$ [anni]	$a_y$ [g]	$F_c$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.043	2.534	0.268
SLD	75	0.055	2.490	0.279
SLV	712	0.153	2.571	0.276
SLC	1462	0.204	2.518	0.283

Si procede ora a determinare gli spettri di progetto.

Si ricorda quanto espresso dal paragrafo 7.9.2 delle NTC 2008:

...”la struttura del ponte deve essere concepita e dimensionata in modo tale che sotto l'azione sismica di progetto per lo SLV essa dia luogo alla formazione di un meccanismo dissipativo stabile, nella quale la dissipazione sia limitata alle pile o ad appositi apparecchi dissipativi...Gli elementi ai quali non viene richiesta capacità dissipativa e devono, quindi, mantenere un comportamento sostanzialmente elastico sono: l'impalcato, gli apparecchi di appoggio, le strutture di fondazione e il terreno da esse interessato, le spalle se sostengono l'impalcato attraverso appoggi mobili o deformabili..”

Essendo un viadotto a tre campate ed essendo l'impalcato collegato alle spalle attraverso appoggi classici liberi di traslare nelle direzioni scelte verrà applicato alla struttura il solo spettro elastico, allo SLV e allo SLD.

Esso verrà calcolato pertanto con un fattore di struttura  $q = 1$ .

Le immagini seguenti mostrano gli spettri di risposta elastici orizzontali e verticali, allo SLV e allo SLD per l'opera in questione con terreno di tipo D (da relazione geologica) e smorzamento del 5%.

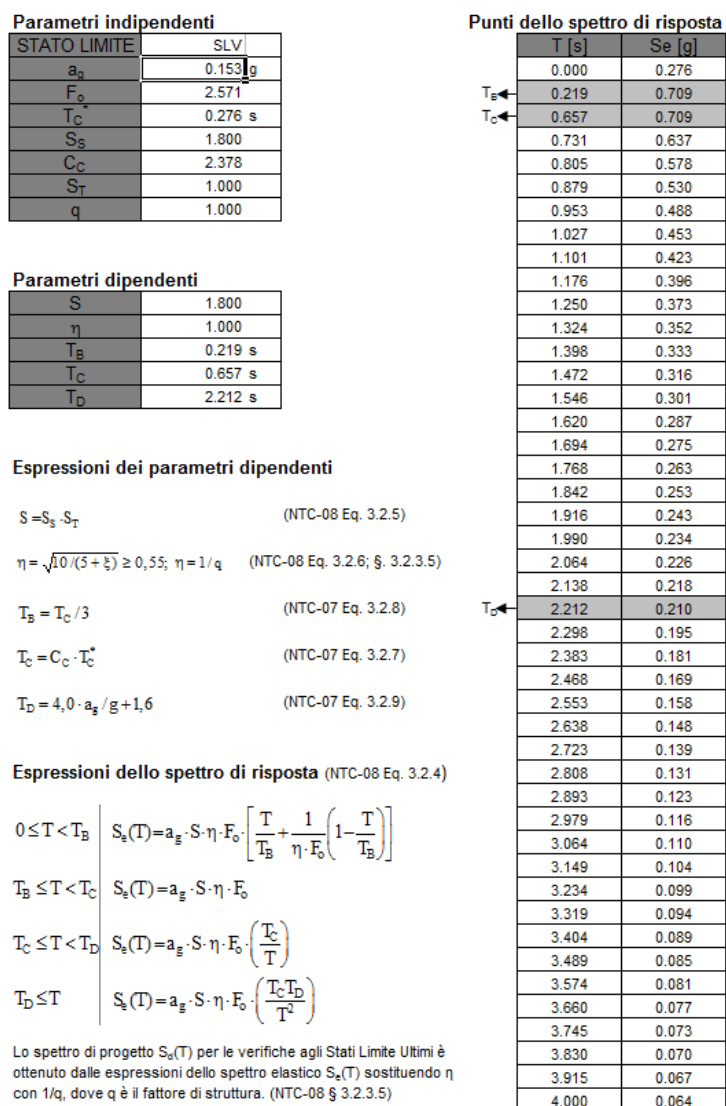


FIGURA 7-5 SLV- SPETTRO ORIZZONTALE



**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato lin\$LV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_w$	0.081 g
$S_s$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000
$T_E$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.358
$S$	1.000
$\eta$	1.000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_s \cdot \left(\frac{a_w}{g}\right)^{0.5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_E \quad \left| \quad S_s(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_E} + \frac{1}{\eta \cdot F_s} \left( 1 - \frac{T}{T_E} \right) \right] \right.$$

$$T_E \leq T < T_C \quad \left| \quad S_s(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \right.$$

$$T_C \leq T < T_D \quad \left| \quad S_s(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \right.$$

$$T_D \leq T \quad \left| \quad S_s(T) = a_w \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \right.$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.081
$T_v$ ←	0.050	0.208
$T_c$ ←	0.150	0.208
	0.235	0.133
	0.320	0.097
	0.405	0.077
	0.490	0.064
	0.575	0.054
	0.660	0.047
	0.745	0.042
	0.830	0.038
	0.915	0.034
$T_D$ ←	1.000	0.031
	1.094	0.026
	1.188	0.022
	1.281	0.019
	1.375	0.016
	1.469	0.014
	1.563	0.013
	1.656	0.011
	1.750	0.010
	1.844	0.009
	1.938	0.008
	2.031	0.008
	2.125	0.007
	2.219	0.006
	2.313	0.006
	2.406	0.005
	2.500	0.005
	2.594	0.005
	2.688	0.004
	2.781	0.004
	2.875	0.004
	2.969	0.004
	3.063	0.003
	3.156	0.003
	3.250	0.003
	3.344	0.003
	3.438	0.003
	3.531	0.003
	3.625	0.002
	3.719	0.002
	3.813	0.002
	3.906	0.002
	4.000	0.002

FIGURA 7-6 SLV- SPETTRO VERTICALE

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.055 g
$F_o$	2.490
$T_c$	0.279 s
$S_s$	1.800
$C_c$	2.367
$S_T$	1.000
$q$	1.000

Parametri dipendenti

$S$	1.800
$\eta$	1.000
$T_B$	0.220 s
$T_c$	0.660 s
$T_D$	1.821 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.099
	0.220	0.247
$T_B$	0.660	0.247
$T_c$	0.715	0.228
	0.771	0.212
	0.826	0.198
	0.881	0.185
	0.936	0.174
	0.992	0.165
	1.047	0.156
	1.102	0.148
	1.157	0.141
	1.213	0.135
	1.268	0.129
	1.323	0.123
	1.379	0.118
	1.434	0.114
	1.489	0.110
	1.544	0.106
	1.600	0.102
	1.655	0.099
	1.710	0.095
	1.765	0.092
$T_D$	1.821	0.090
	1.924	0.080
	2.028	0.072
	2.132	0.065
	2.236	0.059
	2.339	0.054
	2.443	0.050
	2.547	0.046
	2.651	0.042
	2.755	0.039
	2.858	0.036
	2.962	0.034
	3.066	0.032
	3.170	0.030
	3.274	0.028
	3.377	0.026
	3.481	0.025
	3.585	0.023
	3.689	0.022
	3.792	0.021
	3.896	0.020
	4.000	0.019

FIGURA 7-7 SLD- SPETTRO ORIZZONTALE

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limSLD**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{sv}$	0.017 g
$S_s$	1.000
$S_T$	1.000
q	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.789
S	1.000
$\eta$	1.000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_s \cdot \left(\frac{a_x}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.017
$T_v$	0.050	0.044
$T_c$	0.150	0.044
	0.235	0.028
	0.320	0.020
	0.405	0.016
	0.490	0.013
	0.575	0.011
	0.660	0.010
	0.745	0.009
	0.830	0.008
	0.915	0.007
$T_D$	1.000	0.007
	1.094	0.005
	1.188	0.005
	1.281	0.004
	1.375	0.003
	1.469	0.003
	1.563	0.003
	1.656	0.002
	1.750	0.002
	1.844	0.002
	1.938	0.002
	2.031	0.002
	2.125	0.001
	2.219	0.001
	2.313	0.001
	2.406	0.001
	2.500	0.001
	2.594	0.001
	2.688	0.001
	2.781	0.001
	2.875	0.001
	2.969	0.001
	3.063	0.001
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.000
	3.719	0.000
	3.813	0.000
	3.906	0.000
	4.000	0.000

**FIGURA 7-8 SLD- SPETTRO VERTICALE**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLC
$a_g$	0.204 g
$F_0$	2.518
$T_C$	0.283 s
$S_S$	1.629
$C_C$	2.348
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.629
$\eta$	1.000
$T_B$	0.222 s
$T_C$	0.665 s
$T_D$	2.417 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{1.0 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.333
	0.222	0.837
$T_B \leftarrow$	0.665	0.837
$T_C \leftarrow$	0.749	0.744
	0.832	0.670
	0.916	0.609
	0.999	0.558
	1.082	0.515
	1.166	0.478
	1.249	0.446
	1.332	0.418
	1.416	0.393
	1.499	0.372
	1.583	0.352
	1.666	0.334
	1.749	0.318
	1.833	0.304
	1.916	0.291
	2.000	0.279
	2.083	0.267
	2.166	0.257
	2.250	0.248
	2.333	0.239
$T_D \leftarrow$	2.417	0.231
	2.492	0.217
	2.567	0.204
	2.643	0.193
	2.718	0.182
	2.794	0.173
	2.869	0.164
	2.944	0.155
	3.020	0.148
	3.095	0.141
	3.171	0.134
	3.246	0.128
	3.321	0.122
	3.397	0.117
	3.472	0.112
	3.548	0.107
	3.623	0.103
	3.698	0.098
	3.774	0.095
	3.849	0.091
	3.925	0.087
	4.000	0.084

**FIGURA 7-9 SLC- SPETTRO ORIZZONTALE**

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLC**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLC
$a_{sv}$	0.125 g
$S_B$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.536
$S$	1.000
$\eta$	1.000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_B \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_c \cdot \left(\frac{a_{sv}}{g}\right)^{0.5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_c} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_B}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

T [s]	Se [g]
0.000	0.125
0.050	0.314
0.150	0.314
0.235	0.200
0.320	0.147
0.405	0.116
0.490	0.096
0.575	0.082
0.660	0.071
0.745	0.063
0.830	0.057
0.915	0.051
1.000	0.047
1.094	0.039
1.188	0.033
1.281	0.029
1.375	0.025
1.469	0.022
1.563	0.019
1.656	0.017
1.750	0.015
1.844	0.014
1.938	0.013
2.031	0.011
2.125	0.010
2.219	0.010
2.313	0.009
2.406	0.008
2.500	0.008
2.594	0.007
2.688	0.007
2.781	0.006
2.875	0.006
2.969	0.005
3.063	0.005
3.156	0.005
3.250	0.004
3.344	0.004
3.438	0.004
3.531	0.004
3.625	0.004
3.719	0.003
3.813	0.003
3.906	0.003
4.000	0.003

**FIGURA 7-10 SLC- SPETTRO VERTICALE**

Gli spettri sopra esposti vengono inseriti nel programma e applicati dallo stesso in automatico alla modellazione.

Gli spettri sopra esposti saranno applicati al modello secondo tre direzioni mediante l'utilizzo di sei casi di carico sismici:

- SLV 1 --> spettro orizzontale allo stato limite di salvaguardia della vita applicato in direzione longitudinale

- SLV 2 --> spettro orizzontale allo stato limite di salvaguardia della vita applicato in direzione trasversale
- SLV 3 --> spettro verticale allo stato limite di salvaguardia della vita
- SLD 1 --> spettro orizzontale allo stato limite di danno applicato in direzione longitudinale
- SLD 2 --> spettro orizzontale allo stato limite di danno applicato in direzione trasversale
- SLD 3 --> spettro verticale allo stato limite di danno
- SLC 1 --> spettro orizzontale allo stato limite di collasso applicato in direzione longitudinale
- SLC 2 --> spettro orizzontale allo stato limite di collasso applicato in direzione trasversale
- SLC 3 --> spettro verticale allo stato limite di collasso

Si precisa che mentre gli spettri allo SLV e SLD verranno utilizzati per il dimensionamento dell'impalcato, lo spettro allo SLC sarà utilizzato solo per il dimensionamento di idonei isolatori (tabella C7.1.I Circolare 2 Febbraio 2009 n° 617).

#### **7.1.9. AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO**

I carichi da traffico vengono calcolati seguendo il DM 14/01/2008.

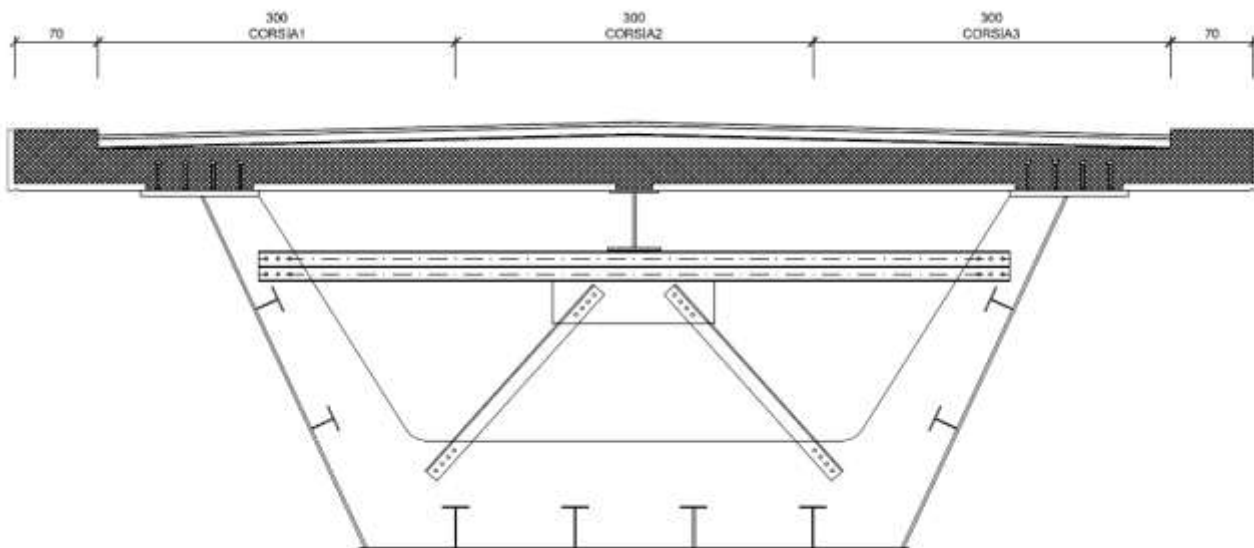
I carichi stradali, come da normativa vigente, sono applicati su 3 corsie convenzionali stradali di larghezza 3 metri. In questo caso non esiste area rimanente.

I cordoli laterali assumono solo la funzione di supporto barriera stradale quindi non presentano carico da folla su di essi applicati.

Riassumendo si sono prese in considerazione le seguenti linee di carico:

- C1: corsia principale n°1 di larghezza metri 3
- C2: corsia n°2 (interna) di larghezza metri 3
- C3: corsia n°3 di larghezza metri 3

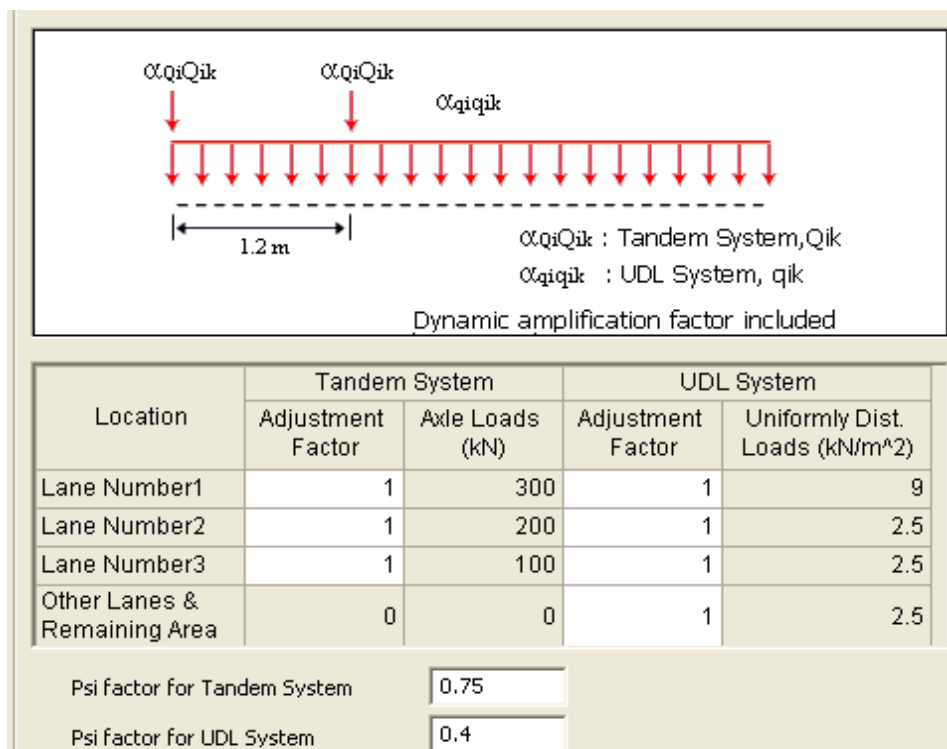
L'immagine seguente mostra la schematizzazione delle corsie.



**FIGURA 7-11 SCHEMATIZZAZIONE DELLE CORSIE CONVENZIONALI**

Seguendo le disposizioni di cui al capitolo 5 del DM 14/01/2008 e successive integrazioni si considerano gli schemi di carico sotto esposti. Le immagini seguenti mostrano la costruzione dei veicoli effettuata col programma di calcolo.

7.1.9.1 *LM1 (SLU) – Schema Di Carico*



**FIGURA 7-12 CASO DI CARICO 1 (PAR. 5.1.3.3.3. NTC 2008)**

Il veicolo agisce sulle quattro corsie convenzionali e sull'area rimanente. E' costituito da carichi concentrati tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0.40 m. e da carichi uniformemente distribuiti.

Il caso di carico è assunto sia per verifiche globali che locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa.

I coefficienti  $\psi$  rappresentati in figura vengono utilizzati per assegnare valore frequente al caso di carico.

Le combinazioni dei carichi, effettuate in accordo con le tabelle 5.1.IV, 5.1.V, 5.1.VI delle NTC 2008 prenderanno in considerazione due casi di carico differenti da combinare con le altre azioni stradali:

- LM1 totale, cioè non fattorizzato, col suo valore caratteristico
- LM1 ridotto con valore di combinazione frequente



### 7.1.9.2 Azione longitudinale di frenamento o accelerazione

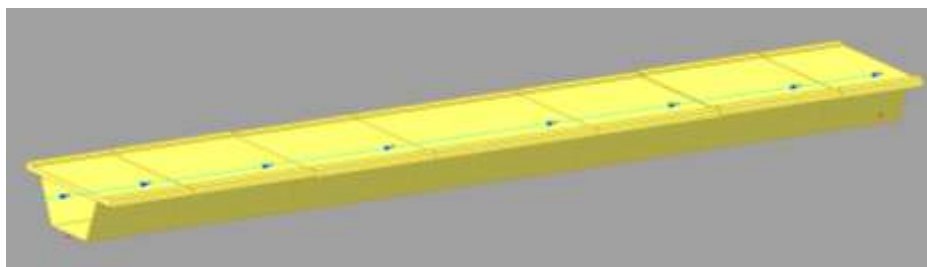
La forza di frenamento o accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n° 1.

In rispetto del paragrafo 5.1.3.5 del DM 14/01/2008 è calcolata come:

$$q = 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k}w_fL = 882.00 \text{ KN}$$

dove  $Q_{1k} = 300 \text{ KN}$ ,  $q_{1k} = 9 \text{ KN/mq}$ ,  $w_f = 3 \text{ m.}$ ,  $L = 60.00 \text{ m.}$

L'immagine seguente mostra l'inserimento del carico suddetto nella modellazione.



**FIGURA 7-13 FRENATURA**

### 7.1.9.3 Azione centrifuga

L'azione centrifuga non è presente in quanto l'opera si sviluppa in rettilineo.

## **7.2. COMBINAZIONI DI CARICO**

---

Lo studio dell'impalcato metallico è svolto col metodo degli Stati Limite Ultimi.

Le combinazioni di carico sono determinate in riferimento al paragrafo 5.1.3.12 e 2.5.3 del DM. 14/01/2008.

Ai fini delle verifiche si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale (SLU), generalmente impiegata per gli stati limite ultimi;
- Combinazione sismica (SLV-SLD), generalmente impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica;
- Combinazione sismica (SLC), impiegata per il dimensionamento degli isolatori;
- Combinazione caratteristica (rara-SLE), impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili;
- Combinazione frequente (SLE), impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili;
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine.

Si rimanda al DM 14/01/2008 per la descrizione approfondita delle combinazioni sopra citate e per i coefficienti di combinazione delle azioni variabili da traffico. In particolare si fa riferimento alle tabelle 5.1.IV, 5.1.V, 5.1.VI.

Di seguito si riportano tutte le combinazioni utilizzate: alcune portano a sollecitazioni massime che verranno utilizzate per la verifica dell'impalcato, altre hanno solo la funzione di creare un involucro di azioni da riportare nella modellazione della sottostruttura per procedere al dimensionamento della stessa.

Le combinazioni utilizzate per il dimensionamento dell'impalcato sono riportate in rosso.

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLC 1	SLC 2	SLC 3	SLD 1	SLD 2	SLD 3	LM1 TOTALE	LM1 RIDOTTO	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'
GRUPPO 1-1	1.35																1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 1-2	1.35				0.9												1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 1-3	1.35		0.72		0.9												1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 1-5	1.35		0.72														1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 1-7	1.35				0.9	0.72											1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 1-9	1.35					0.72											1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 1-11	1.35				0.9		0.72										1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 1-13	1.35						0.72										1.35		1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-1	1.35	1.35																1.35	1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-2	1.35	1.35			0.9													1.35	1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-3	1.35	1.35	0.72		0.9													1.35	1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-5	1.35	1.35	0.72															1.35	1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-7	1.35	1.35			0.9	0.72												1.35	1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-9	1.35	1.35				0.72												1.35	1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-11	1.35	1.35			0.9		0.72											1.35	1.35	1.2	1.2
GRUPPO 2a-13	1.35	1.35					0.72											1.35	1.35	1.2	1.2
SCARICO 1	1.35		1.2																1.35	1.2	1.2
SCARICO 3	1.35		1.2	0.9															1.35	1.2	1.2

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLC 1	SLC 2	SLC 3	SLD 1	SLD 2	SLD 3	LM1 TOTALE	LM1 RIDOTTO	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'
SCARICO 5	1.35					1.2													1.35	1.2	1.2
SCARICO 7	1.35			0.9		1.2													1.35	1.2	1.2
SCARICO 9	1.35						1.2												1.35	1.2	1.2
SCARICO 11	1.35			0.9		1.2													1.35	1.2	1.2
SCARICO 13	1.35			1.5															1.35	1.2	1.2
SCARICO 14	1.35			1.5															1.35	1.2	1.2
SCARICO 15	1.35		0.72	1.5															1.35	1.2	1.2
SCARICO 17	1.35			1.5		0.72													1.35	1.2	1.2
SCARICO 19	1.35			1.5			0.72												1.35	1.2	1.2
PERMANENTI PORTATI	1																				
SLV 1	1							1	0.3	0.3									1	1	1
SLV 2	1							1	0.3	-0.3									1	1	1
SLV 3	1							1	-0.3	-0.3									1	1	1
SLV 4	1							1	-0.3	0.3									1	1	1
SLV 5	1							-1	0.3	0.3									1	1	1
SLV 6	1							-1	0.3	-0.3									1	1	1
SLV 7	1							-1	-0.3	-0.3									1	1	1

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLC 1	SLC 2	SLC 3	SLD 1	SLD 2	SLD 3	LM1 TOTALE	LM1 RIDOTTO	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'
SLV 8	1							-1	-0.3	0.3									1	1	1
SLV 9	1							0.3	1	0.3									1	1	1
SLV 10	1							0.3	1	-0.3									1	1	1
SLV 11	1							-0.3	1	-0.3									1	1	1
SLV 12	1							-0.3	1	0.3									1	1	1
SLV 13	1							0.3	-1	0.3									1	1	1
SLV 14	1							0.3	-1	-0.3									1	1	1
SLV 15	1							-0.3	-1	-0.3									1	1	1
SLV 16	1							-0.3	-1	0.3									1	1	1
SLV 17	1							0.3	0.3	1									1	1	1
SLV 18	1							0.3	-0.3	1									1	1	1
SLV 19	1							-0.3	-0.3	1									1	1	1
SLV 20	1							-0.3	0.3	1									1	1	1
SLV 21	1							0.3	0.3	-1									1	1	1
SLV 22	1							0.3	-0.3	-1									1	1	1
SLV 23	1							-0.3	-0.3	-1									1	1	1
SLV 24	1							-0.3	0.3	-1									1	1	1
SLC 1	1											1	0.3	0.3					1	1	1

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV	SLV	SLV	SLC	SLC	SLC	SLD	SLD	SLD	LM1	LM1	PESO	RITIRO	VISCOSITA'
								1	2	3	1	2	3	1	2	3	TOTALE	RIDOTTO	PROPRIO		
SLC 2		1									1	0.3	-0.3						1	1	1
SLC 3		1									1	-0.3	-0.3						1	1	1
SLC 4		1									1	-0.3	0.3						1	1	1
SLC 5		1									-1	0.3	0.3						1	1	1
SLC 6		1									-1	0.3	-0.3						1	1	1
SLC 7		1									-1	-0.3	-0.3						1	1	1
SLC 8		1									-1	-0.3	0.3						1	1	1
SLC 9		1									0.3	1	0.3						1	1	1
SLC 10		1									0.3	1	-0.3						1	1	1
SLC 11		1									-0.3	1	-0.3						1	1	1
SLC 12		1									-0.3	1	0.3						1	1	1
SLC 13		1									0.3	-1	0.3						1	1	1
SLC 14		1									0.3	-1	-0.3						1	1	1
SLC 15		1									-0.3	-1	-0.3						1	1	1
SLC 16		1									-0.3	-1	0.3						1	1	1
SLC 17		1									0.3	0.3	1						1	1	1
SLC 18		1									0.3	-0.3	1						1	1	1
SLC 19		1									-0.3	-0.3	1						1	1	1

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLC 1	SLC 2	SLC 3	SLD 1	SLD 2	SLD 3	LM1 TOTALE	LM1 RIDOTTO	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'
SLC 20	1										-0.3	0.3	1						1	1	1
SLC 21	1										0.3	0.3	-1						1	1	1
SLC 22	1										0.3	-0.3	-1						1	1	1
SLC 23	1										-0.3	-0.3	-1						1	1	1
SLC 24	1										-0.3	0.3	-1						1	1	1
SLD 1	1													1	0.3	0.3			1	1	1
SLD 2	1													1	0.3	-0.3			1	1	1
SLD 3	1													1	-0.3	-0.3			1	1	1
SLD 4	1													1	-0.3	0.3			1	1	1
SLD 5	1													-1	0.3	0.3			1	1	1
SLD 6	1													-1	0.3	-0.3			1	1	1
SLD 7	1													-1	-0.3	-0.3			1	1	1
SLD 8	1													-1	-0.3	0.3			1	1	1
SLD 9	1													0.3	1	0.3			1	1	1
SLD 10	1													0.3	1	-0.3			1	1	1
SLD 11	1													-0.3	1	-0.3			1	1	1
SLD 12	1													-0.3	1	0.3			1	1	1
SLD 13	1													0.3	-1	0.3			1	1	1

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLC 1	SLC 2	SLC 3	SLD 1	SLD 2	SLD 3	LM1 TOTALE	LM1 RIDOTTO	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'
SLD 14	1													0.3	-1	-0.3			1	1	1
SLD 15	1													-0.3	-1	-0.3			1	1	1
SLD 16	1													-0.3	-1	0.3			1	1	1
SLD 17	1													0.3	0.3	1			1	1	1
SLD 18	1													0.3	-0.3	1			1	1	1
SLD 19	1													-0.3	-0.3	1			1	1	1
SLD 20	1													-0.3	0.3	1			1	1	1
SLD 21	1													0.3	0.3	-1			1	1	1
SLD 22	1													0.3	-0.3	-1			1	1	1
SLD 23	1													-0.3	-0.3	-1			1	1	1
SLD 24	1													-0.3	0.3	-1			1	1	1
RARE 1	1																1		1	1	1
RARE 2	1				0.6												1		1	1	1
RARE 3	1		0.6		0.6												1		1	1	1
RARE 4	1		-0.6		0.6												1		1	1	1
RARE 5	1		0.6														1		1	1	1
RARE 6	1		-0.6														1		1	1	1
RARE 7	1	1																1	1	1	1



NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV	SLV	SLV	SLC	SLC	SLC	SLD	SLD	SLD	LM1	LM1	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'	
								1	2	3	1	2	3	1	2	3	TOTALE	RIDOTTO				
RARE 8	1	1			0.6														1	1	1	1
RARE 9	1	1	0.6		0.6														1	1	1	1
RARE 10	1	1	-0.6		0.6														1	1	1	1
RARE 11	1	1	0.6																1	1	1	1
RARE 12	1	1	-0.6																1	1	1	1
RARE 13	1			1																1	1	1
RARE 14	1		1																	1	1	1
RARE 15	1		-0.6	1																1	1	1
RARE 16	1		0.6	1																1	1	1
RARE 17	1		1	0.6																1	1	1
RARE 18	1		-1	0.6																1	1	1
RARE 19	1		-1																	1	1	1
RARE 20	1				0.6	0.6											1			1	1	1
RARE 21	1				0.6	-0.6											1			1	1	1
RARE 22	1					0.6											1			1	1	1
RARE 23	1					-0.6											1			1	1	1
RARE 24	1	1			0.6	0.6												1		1	1	1
RARE 25	1	1			0.6	-0.6												1		1	1	1

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV	SLV	SLV	SLC	SLC	SLC	SLD	SLD	SLD	LM1	LM1	PESO	RITIRO	VISCOSITA'
								1	2	3	1	2	3	1	2	3	TOTALE	RIDOTTO	PROPRIO		
RARE 26	1	1				0.6												1	1	1	1
RARE 27	1	1				-0.6												1	1	1	1
RARE 28	1					1													1	1	1
RARE 29	1			1		-0.6													1	1	1
RARE 30	1			1		0.6													1	1	1
RARE 31	1			0.6		1													1	1	1
RARE 32	1			0.6		-1													1	1	1
RARE 33	1					-1													1	1	1
RARE 34	1				0.6		0.6										1		1	1	1
RARE 35	1				0.6		-0.6										1		1	1	1
RARE 36	1						0.6										1		1	1	1
RARE 37	1						-0.6										1		1	1	1
RARE 38	1	1			0.6		0.6											1	1	1	1
RARE 39	1	1			0.6		-0.6											1	1	1	1
RARE 40	1	1					0.6											1	1	1	1
RARE 41	1	1					-0.6											1	1	1	1
RARE 42	1						1												1	1	1
RARE 43	1			1			-0.6												1	1	1

NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLC 1	SLC 2	SLC 3	SLD 1	SLD 2	SLD 3	LM1 TOTALE	LM1 RIDOTTO	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'
RARE 44	1			1			0.6												1	1	1
RARE 45	1			0.6			1												1	1	1
RARE 46	1			0.6			-1												1	1	1
RARE 47	1						-1												1	1	1
FREQUENTI 1	1		0.5															1	1	1	1
FREQUENTI 2	1		-0.5															1	1	1	1
FREQUENTI 3	1				0.2														1	1	1
FREQUENTI 4	1		0.5		0.2														1	1	1
FREQUENTI 5	1		-0.5		0.2														1	1	1
FREQUENTI 6	1		0.6																1	1	1
FREQUENTI 7	1		-0.6																1	1	1
FREQUENTI 8	1					0.5												1	1	1	1
FREQUENTI 9	1					-0.5												1	1	1	1
FREQUENTI 10	1				0.2														1	1	1
FREQUENTI 11	1				0.2	0.5													1	1	1
FREQUENTI 12	1				0.2	-0.5													1	1	1
FREQUENTI 13	1					0.6													1	1	1
FREQUENTI 14	1					-0.6													1	1	1

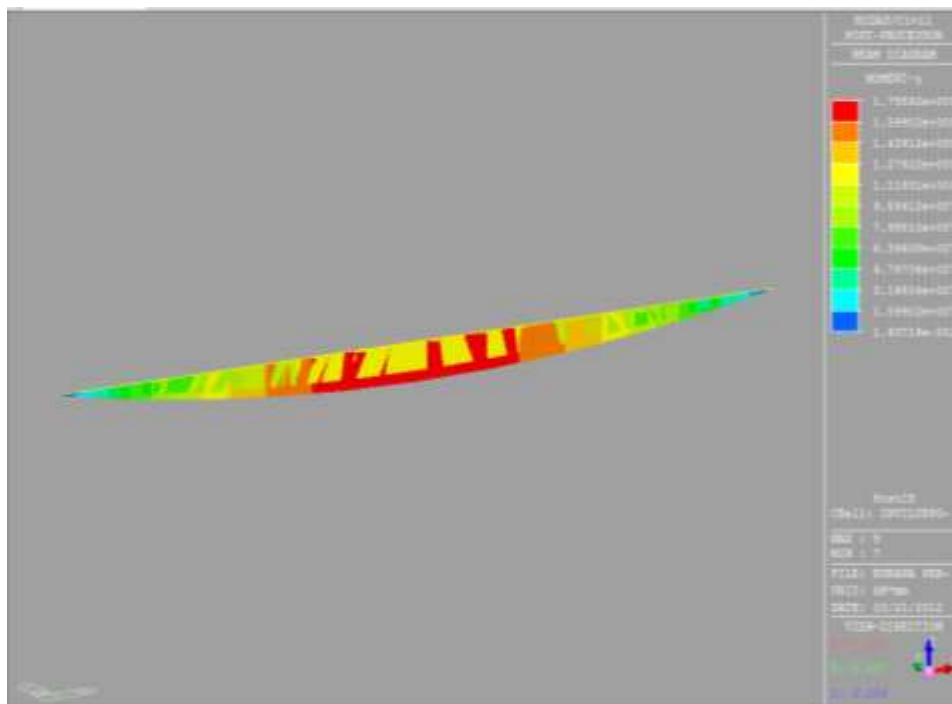
NAME	PERMANENTI	FRENATURA	TEMP. 1	VENTO SCARICO	VENTO CARICO	TEMP. 2	TEMP. 3	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLC 1	SLC 2	SLC 3	SLD 1	SLD 2	SLD 3	LM1 TOTALE	LM1 RIDOTTO	PESO PROPRIO	RITIRO	VISCOSITA'
FREQUENTI 15	1						0.5											1	1	1	1
FREQUENTI 16	1						-0.5											1	1	1	1
FREQUENTI 17	1				0.2														1	1	1
FREQUENTI 18	1				0.2		0.5												1	1	1
FREQUENTI 19	1				0.2		-0.5												1	1	1
FREQUENTI 20	1						0.6												1	1	1
FREQUENTI 21	1						-0.6												1	1	1
Q.P. 1	1		0.5																1	1	1
Q.P. 2	1		-0.5																1	1	1
Q.P. 3	1					0.5													1	1	1
Q.P. 4	1					-0.5													1	1	1
Q.P. 5	1						0.5												1	1	1
Q.P. 6	1						-0.5												1	1	1

## 7.3. RISULTATI DELL'ANALISI

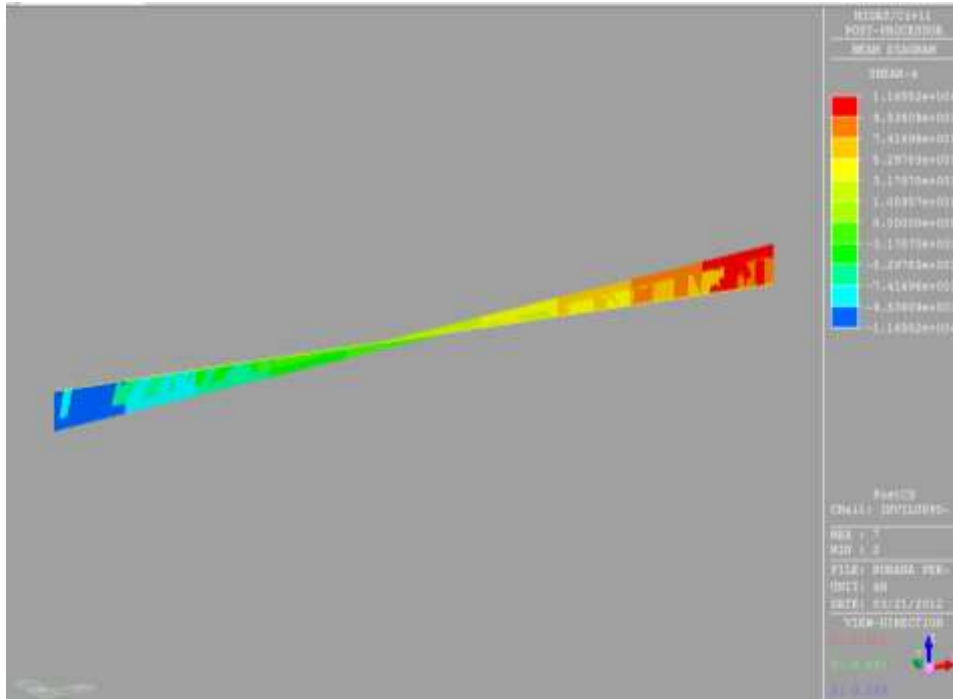
Si riportano di seguito gli involuppi dei gruppi di combinazioni utilizzati e quindi le sollecitazioni più gravosa per il calcolo.

Si riportano inoltre le deformazioni massime più significative e le reazioni sui vincoli utilizzate per il dimensionamento degli isolatori.

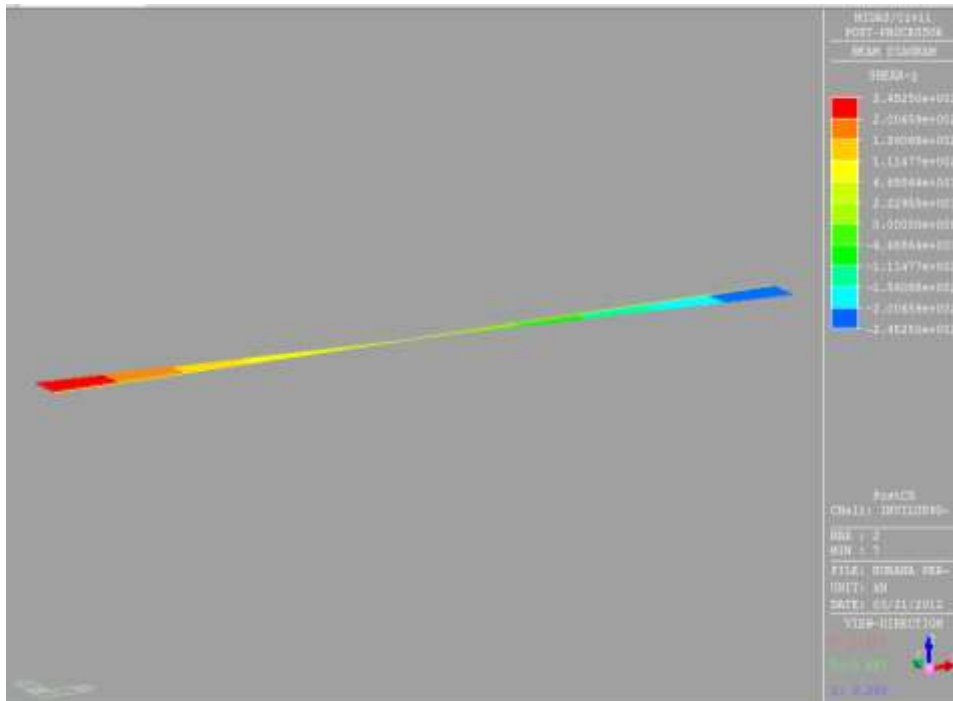
### 7.3.1. SOLLECITAZIONI



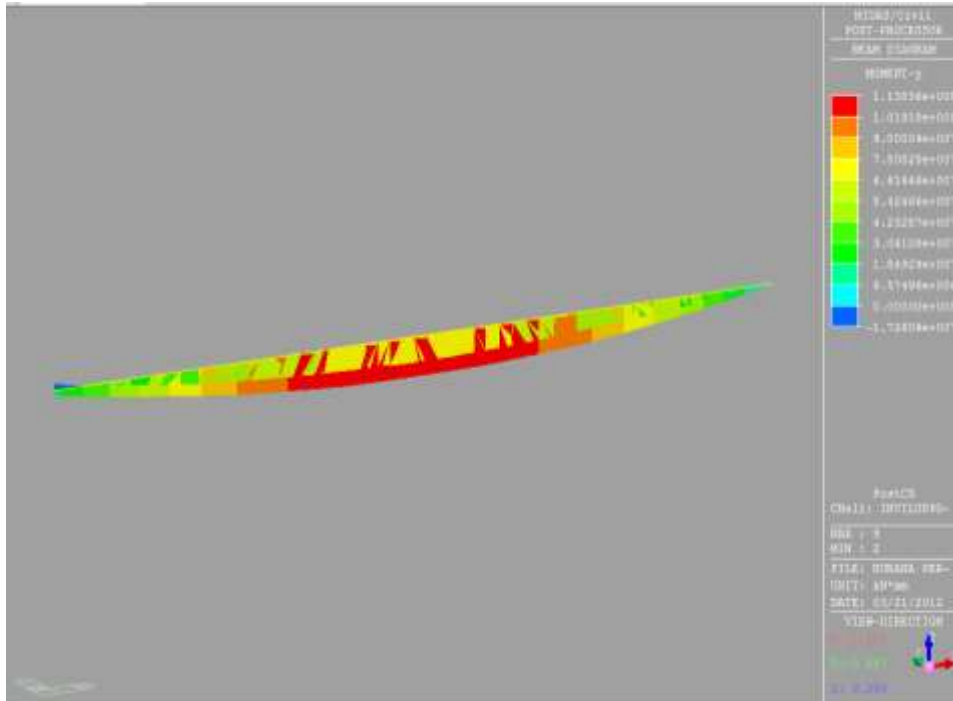
**FIGURA 7-14MOMENTI: INVILUPPO COMBINAZIONI STATICHE (SLU)**



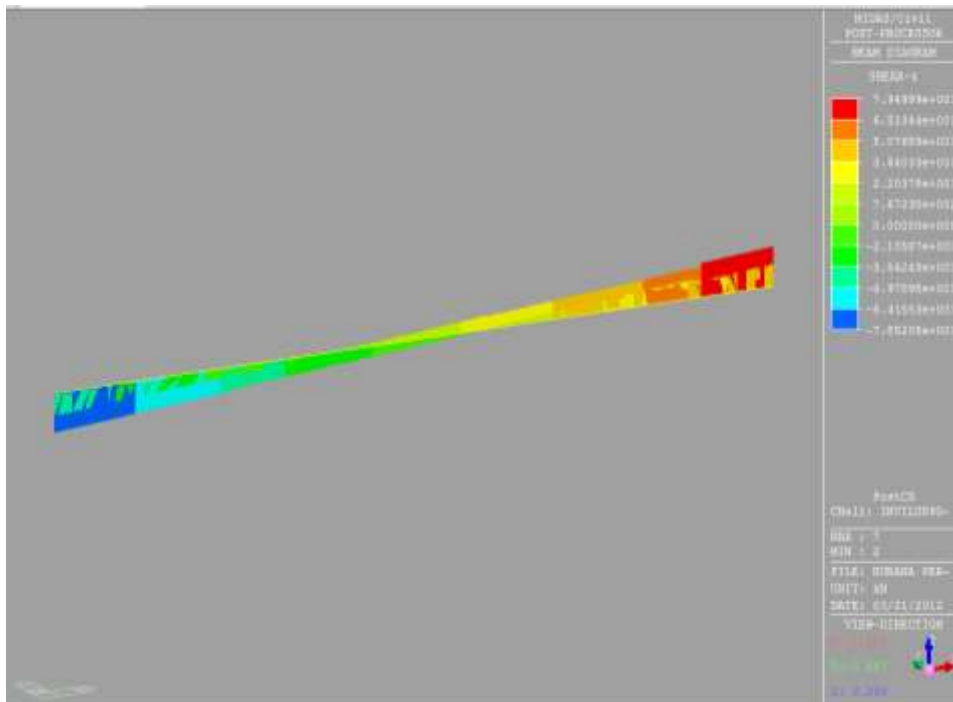
**FIGURA 7-15 TAGLI: INVILUPPO COMBINAZIONI STATICHE (SLU)**



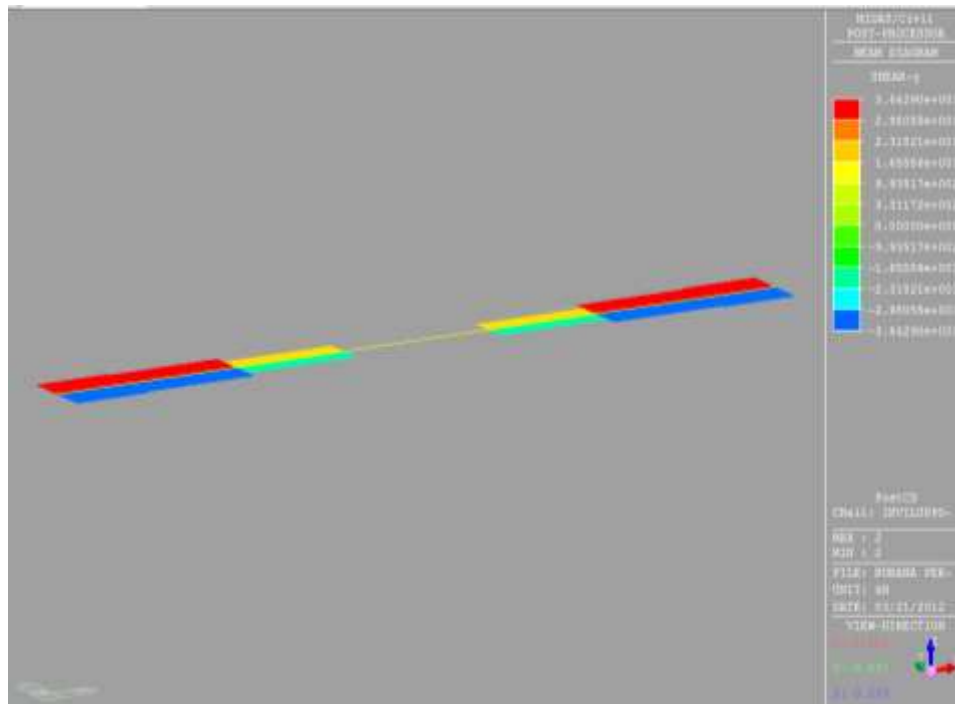
**FIGURA 7-16 TAGLI: INVILUPPO COMBINAZIONI STATICHE (SLU)**



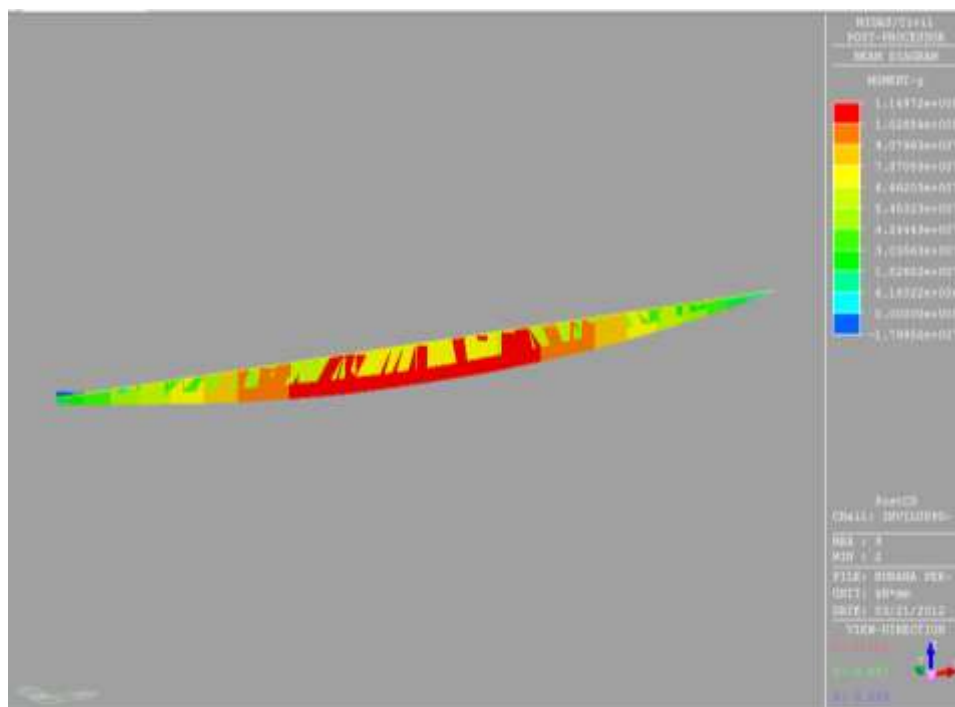
**FIGURA 7-17 MOMENTI: INVILUPPO COMBINAZIONI SISMICHE (SLV)**



**FIGURA 7-18 TAGLI: INVILUPPO COMBINAZIONI SISMICHE (SLV)**



**FIGURA 7-19 TAGLI: INVILUPPO COMBINAZIONI SISMICHE (SLV)**



**FIGURA 7-20 MOMENTI: INVILUPPO COMBINAZIONI SISMICHE (SLC)**



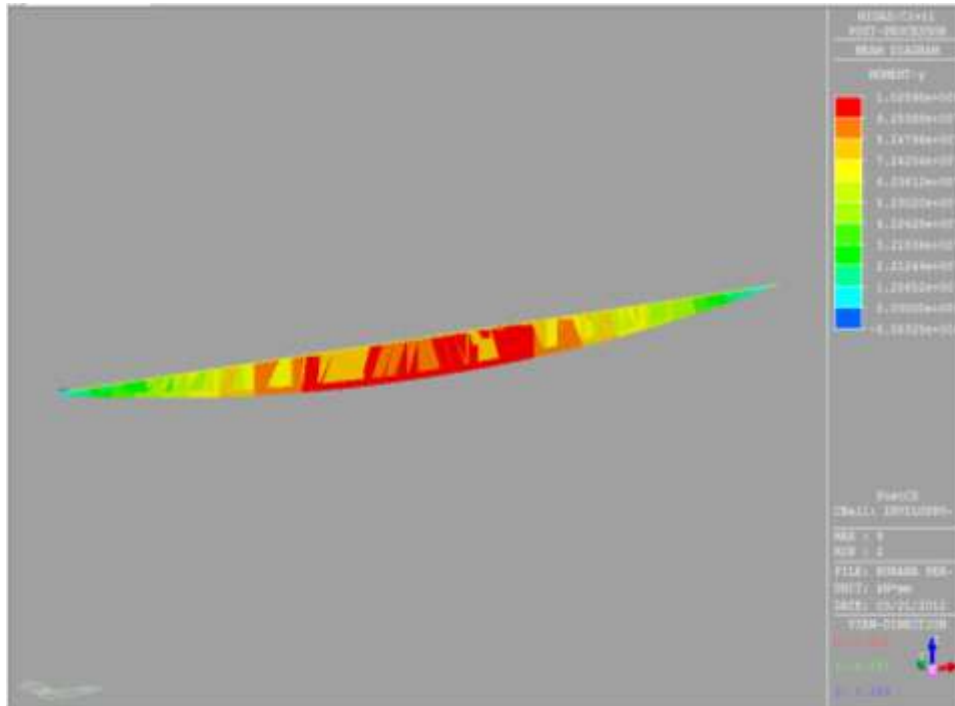


FIGURA 7-21 MOMENTI: INVILUPPO COMBINAZIONI SISMICHE (SLD)

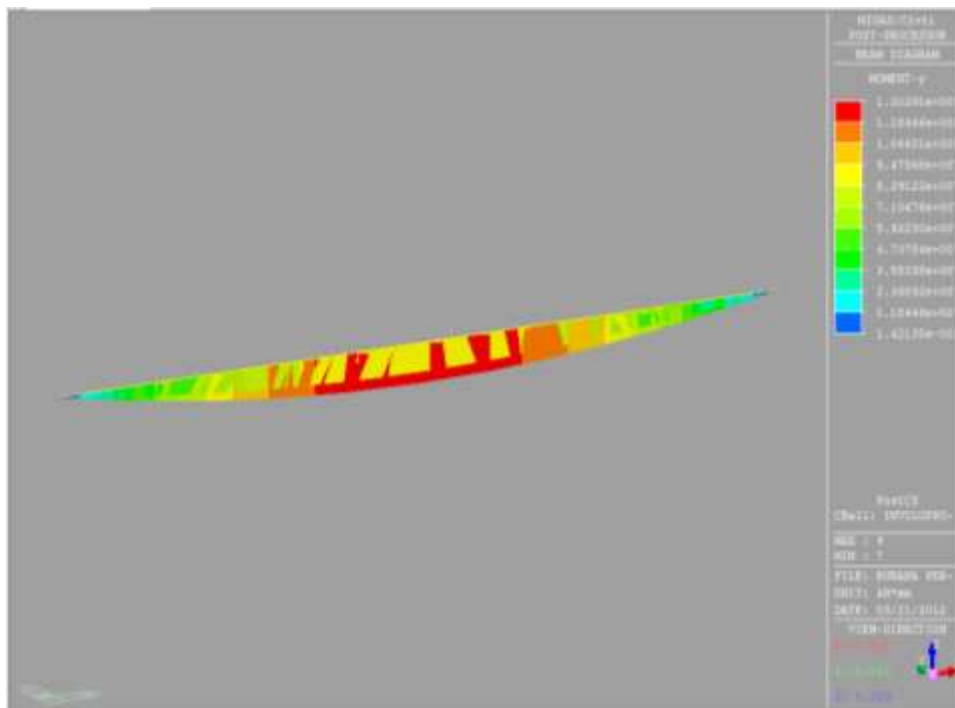
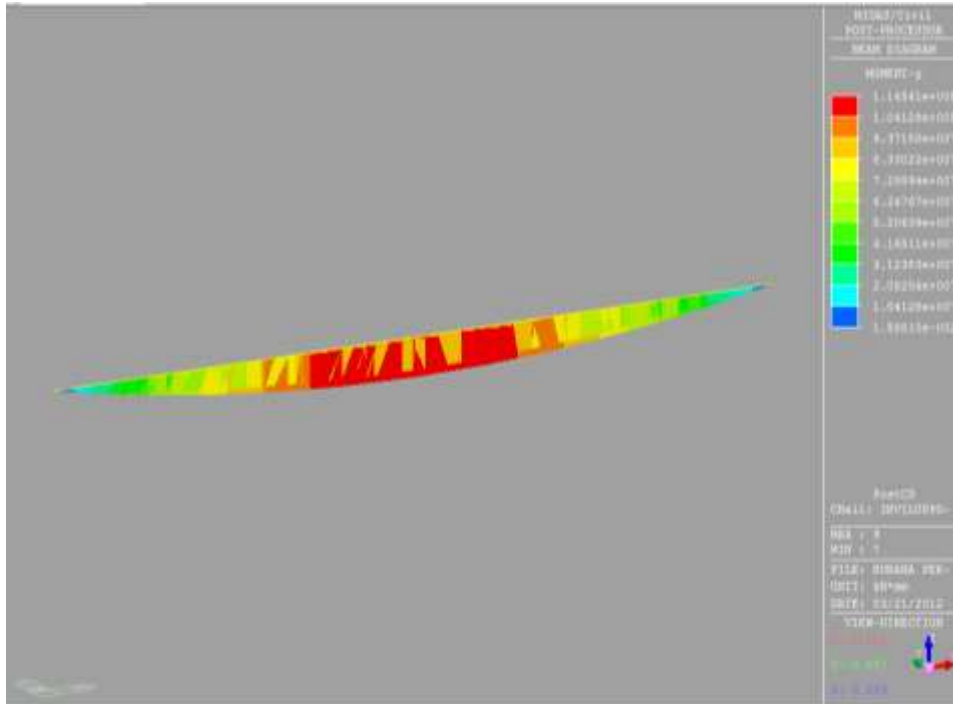
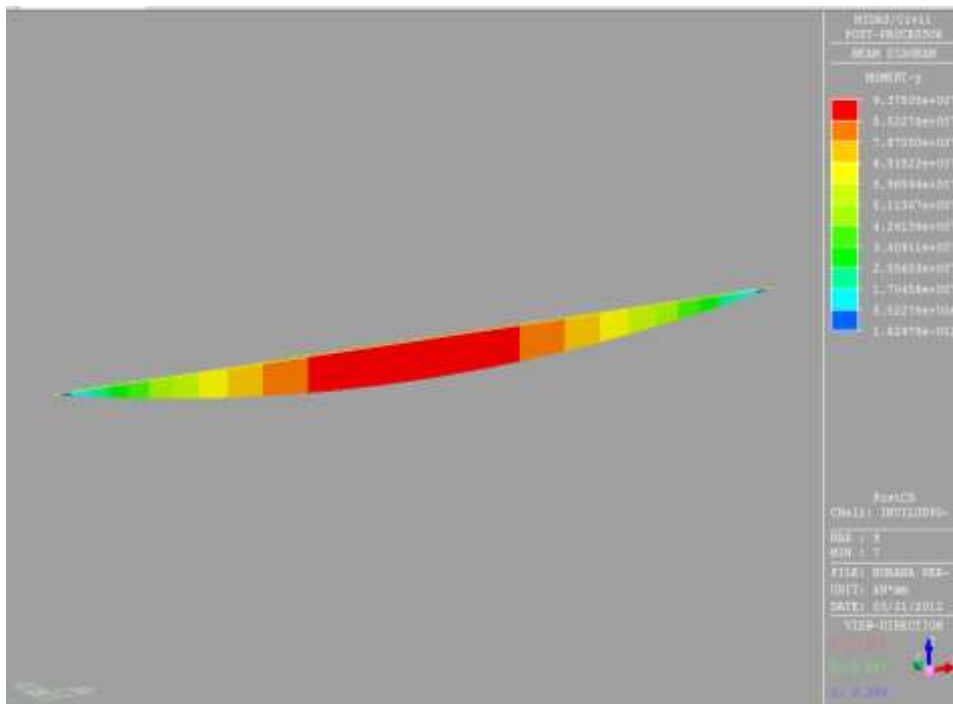


FIGURA 7-22 MOMENTI: INVILUPPO COMBINAZIONI ALLO SLE RARE

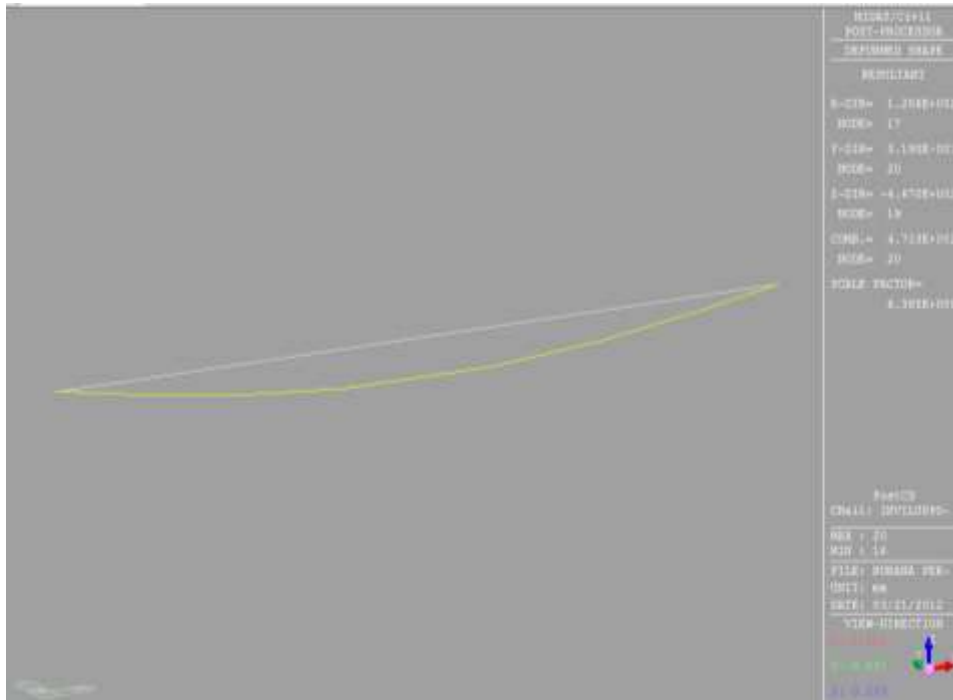


**FIGURA 7-23 MOMENTI: INVILUPPO COMBINAZIONI ALLO SLE FREQUENTI**

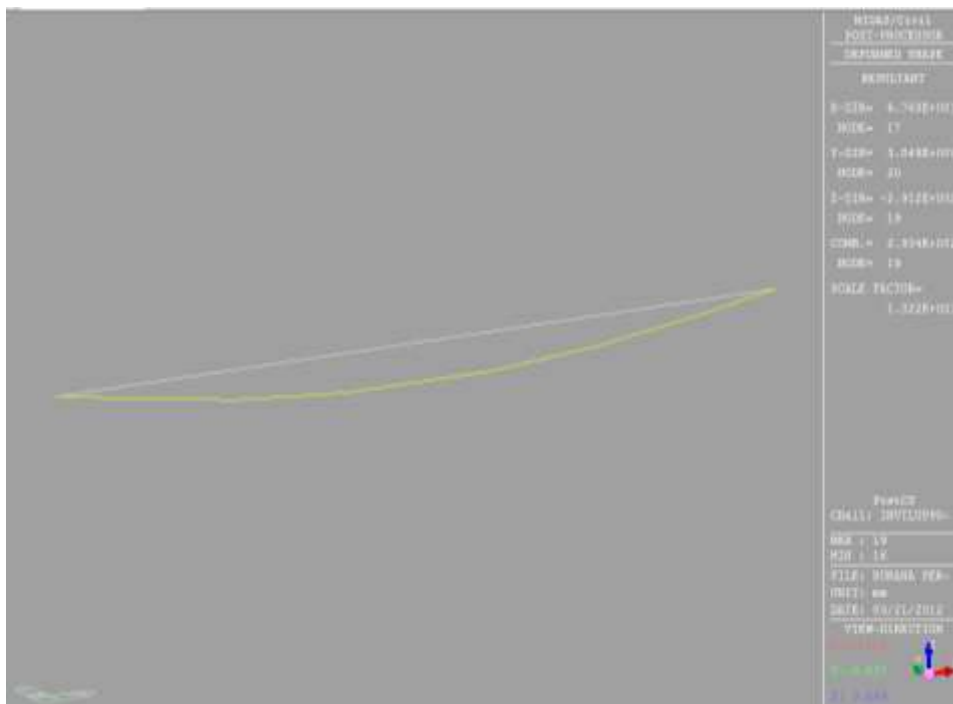


**FIGURA 7-24 MOMENTI: INVILUPPO COMBINAZIONI ALLO SLE QUASI PERMANENTI**

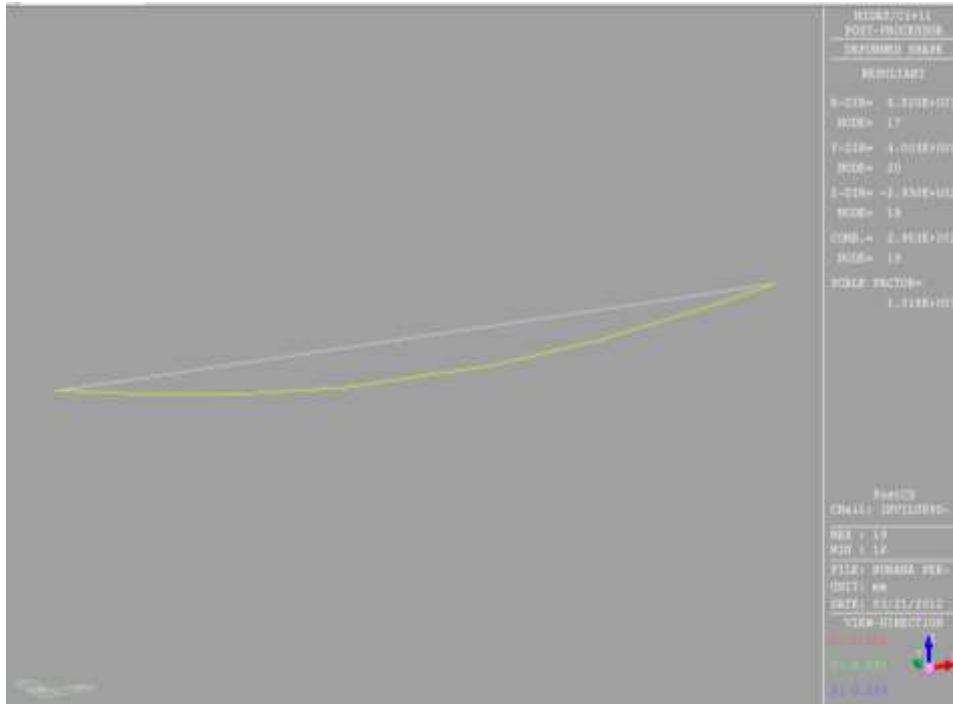
**7.3.2. DEFORMAZIONI**



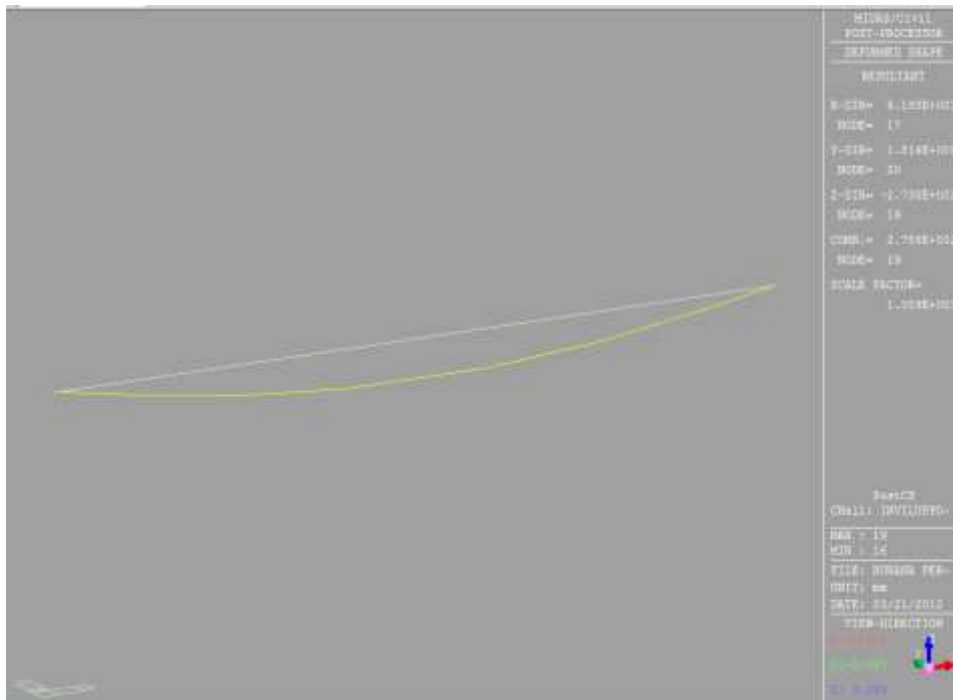
**FIGURA 7-25 DEFORMAZIONI PER COMBINAZIONI STATICHE (SLU)**



**FIGURA 7-26 DEFORMAZIONI PER COMBINAZIONI SISMICHE (SLV)**

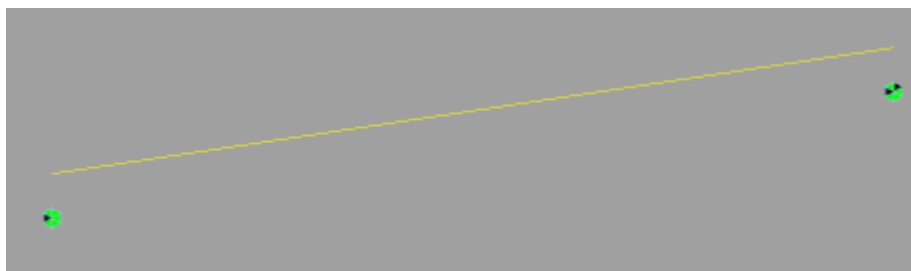


**FIGURA 7-27 DEFORMAZIONI PER COMBINAZIONI SISMICHE (SLC)**



**FIGURA 7-28 DEFORMAZIONI PER COMBINAZIONI SISMICHE (SLD)**

### 7.3.3. VINCOLI



**FIGURA 7-29 SCHEMA DI VINCOLO**

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
16	INVILUPPO STATICA(all)	-567.000000	-245.250000	11856.365833	6249.436148	0.000000	-2317.585771
17	INVILUPPO STATICA(all)	0.000000	-245.250000	11856.365833	6249.436148	0.000000	2317.585771
16	INVILUPPO SLV(all)	5512.063475	3230.271355	7687.065322	8915.548940	0.000000	-37892.114140
17	INVILUPPO SLV(all)	0.000000	3230.271355	7744.150182	8915.548940	0.000000	37892.114140
16	INVILUPPO SLC(all)	6529.167207	3813.861659	7962.397066	10526.258179	0.000000	-44732.073000
17	INVILUPPO SLC(all)	0.000000	3813.861659	8029.797248	10526.258179	0.000000	44732.073000

## 7.4. VERIFICHE DEL CASSONE METALLICO

### 7.4.1. VERIFICA IN FASE 1 (SEZIONE SOLO ACCIAIO)

Le immagini seguenti riportano le sollecitazioni significative in fase 1 dove, alla sola presenza del cassone metallico, si aggiungono i carichi permanenti derivanti dal peso proprio degli elementi metallici e il carico derivante dal getto della soletta.

Le sollecitazioni riportate nelle immagini non sono fattorizzate agli SLU.

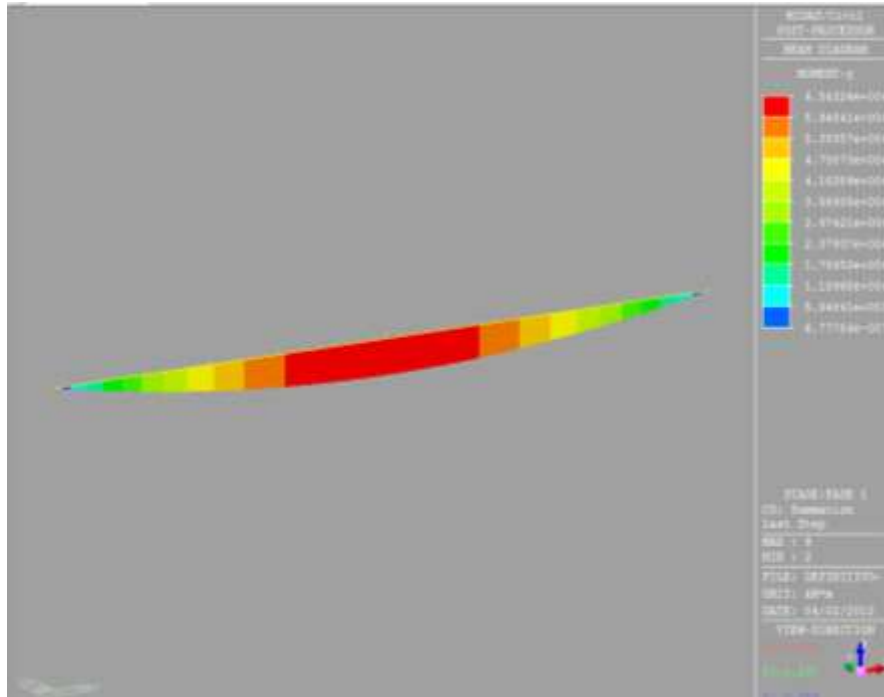


FIGURA 7-30 MOMENTO FLETTENTE FASE 1

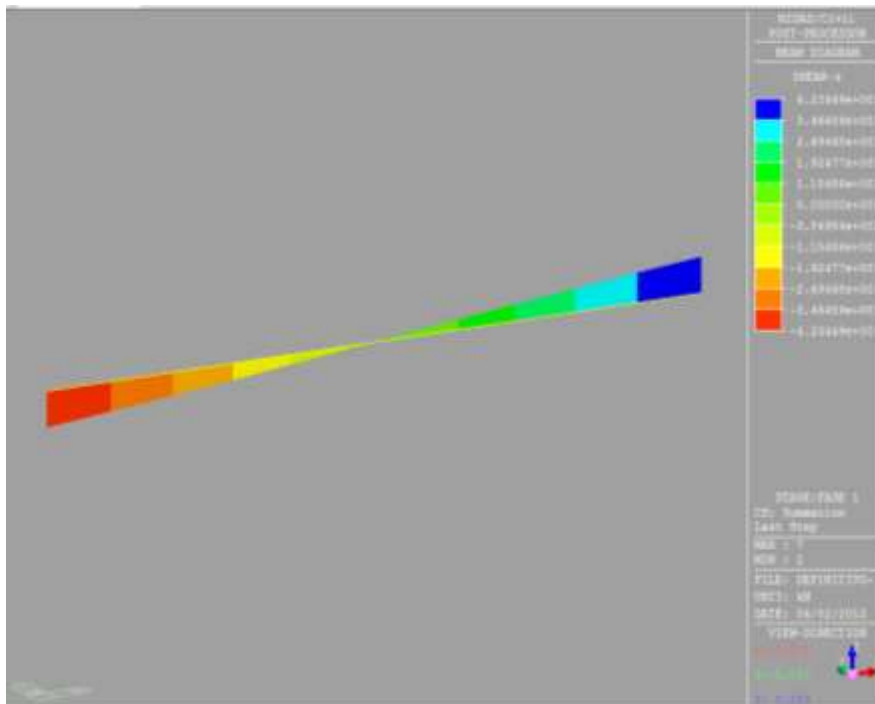


FIGURA 7-31 SFORZO DI TAGLIO FASE 1

Riassumendo sul solo cassone metallico agiscono le seguenti azioni:

$$M^+ (\text{campata}) = 65432.00 \text{ KNm}$$

$$V = 4235.00 \text{ KN}$$

I carichi, fattorizzati agli SLU, risultano:

$$M^+ (\text{campata}) = 65432.00 * 1.35 = 88333.20 \text{ KNm}$$

$$V = 4235.00 * 1.35 = 5717.25 \text{ KN}$$

Per quanto riguarda il taglio esso è agente nella sola direzione z e vale 5717.25 KN.

In assenza di torsione, attorno all'asse forte (taglio z-z) la resistenza a taglio vale:

$$V_{c,RD} = (h_w * t_w * f_{yk}) / (\sqrt{3} * \gamma_{MO}) = (2 * 3280 * 24 * 355) / (\sqrt{3} * 1.05) = 30732.19 \text{ KN} > 8668.35 \text{ --> } \underline{\text{Verifica soddisfatta}}$$

Essendo lo sforzo di taglio di calcolo  $< 0.5 < V_{c,RD}$  si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Si procede quindi alla verifica a flessione.

Il momento massimo, in campata, è pari a 65432.00 KNm,  $6.60 * 10^{10}$  Nmm

Il momento d'inerzia della sezione è pari a  $2.37 * 10^{12}$  mm<sup>4</sup>.

Si calcola quindi il modulo di resistenza che risulta pari a  $3.95 * 10^8$  mm<sup>3</sup>.

La sezione è quindi sollecitata da una sollecitazione pari a:

$$q = (6.60 * 10^{10} \text{ Nmm}) / (3.95 * 10^8 \text{ mm}^3) = 167.08 \text{ Mpa}$$

L'acciaio utilizzato (S355) presenta le seguenti caratteristiche:

$$f_{yk} = 355 \text{ Mpa (resistenza a snervamento)}$$

$$f_u = 510 \text{ Mpa (resistenza ultima)}$$

$$f_d = f_{yk} / \gamma_{MO} = 338.10 \text{ Mpa (resistenza di progetto)}$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

## 7.4.2. VERIFICA DELLA SEZIONE COMPOSTA ACCIAIO – CALCESTRUZZO (FASE 2)

Il programma verifica in automatico agli stati limite ultimi le sezioni miste in acciaio-calcestruzzo secondo l'UNI EN 1994-2, paragrafo 6 ed altri Eurocodici richiamati nella suddetta norma.

Si riporteranno pertanto di seguito gli elementi utilizzati per il progetto e le rispettive verifiche.

L'immagine seguente mostra i parametri utilizzati per il calcolo scelti in accordo alle NTC 2008 e all' EN 1994-2.

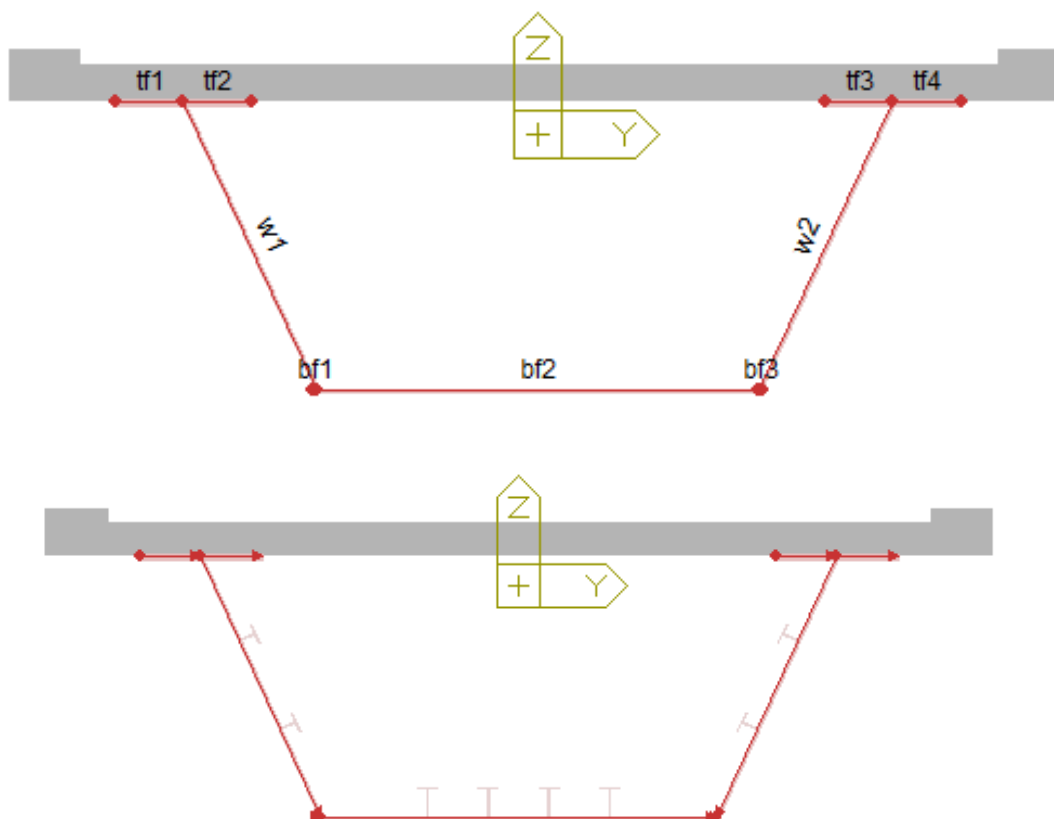
Partial Factor	
Concrete(Gamma C)	1.5
Reinforcing Steel(Gamma S)	1.15
Structural Steel(Gamma M0)	1.05
Structural Steel(Gamma M1)	1.1
Shear Resistance of a Headed Stud(Gamma V)	1.25
Equivalent Constant Amplitude Stress Range(Gamma FF)	1
Fatigue Strength(Gamma MF)	1
Fatigue Strength of Studs in Shear(Gamma MF,s)	1
Damage equivalence factors(for Resistance to fatigue)	
Design life of the bridge in year(t Ld)	100

**FIGURA 7-32 PARAMETRI DI CALCOLO**

### 7.4.2.1 Bending resistance

Il programma calcola il momento resistente della trave composta secondo quanto descritto nell' Eurocodice 4. L'area della sezione resistente dipende sia dalla geometria dell'acciaio sia dalle dimensioni della larghezza efficace della soletta collaborante.





Le immagini sopra riportate mostrano la geometria della sezione che il programma verifica compresi gli irrigidimenti.

Elem	Position	Positive/Negative	Lcom	Type	Top Class	Bot Class	Web Class	Sect. Class	Ma,Ed (kgf*cm)	Mc,Ed (kgf*cm)	Mpl,Rd (kgf*cm)	Mel,Rd (kgf*cm)	M_Rd (kgf*cm)
2I[6]	Negative	SLV 23	-	4	1	1	4	0.0069	52117927.68	2330688612	506554535.1	506554535.1	
2I[6]	Positive	SLV 17	-	1	1	4	4	0.0069	52120169.31	3923590614	555620445.2	555620445.2	
2J[10]	Negative	SLV 5	-	4	1	1	4	234986057.8	19603030.01	2330688612	407945819.3	407945819.3	
2J[10]	Positive	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	4	4	317231178.1	337988323.2	3923590614	822515731.6	822515731.6	
5I[10]	Negative	SLV 5	-	4	1	1	4	234986057.8	20019498.22	2349927348	557438871	557438871	
5I[10]	Positive	GRUPPO	FX-	1	1	4	4	317231178.1	337986978.3	4103746464	1200226550	1200226550	



Elem	Position	Positive/Negative	Lcom	Type	Top Class	Bot Class	Web Class	Sect. Class	Ma,Ed (kgf*cm)	Mc,Ed (kgf*cm)	Mpl,Rd (kgf*cm)	Mel,Rd (kgf*cm)	M_Rd (kgf*cm)
			1-11	MAX									
5J[18]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5J[18]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	4	4	669508756.5	703726553	4103746464	1552504128	1552504128
7I[12]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7I[12]		Positive	GRUPPO 1-3	FX- MAX	1	1	4	4	317231178.2	337988323.2	3923590614	822515731.7	822515731.7
7J[7]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7J[7]		Positive	SLV 1	-	1	1	4	4	0.1012	1120.8342	3923590614	634118.6747	634118.6747
8I[18]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8I[18]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	3	3	669508756.5	703724864.9	5194973973	3287057592	3287057592
8J[19]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8J[19]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	3	3	863756208.7	899975368.4	5194973973	2790919947	2790919947
9I[19]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9I[19]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	3	3	863756208.7	899975368.4	5194973973	2790919947	2790919947
9J[20]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9J[20]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	3	3	863756208.7	899975368.4	5194973973	2790919947	2790919947
10I[20]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10I[20]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	3	3	863756208.7	899975368.4	5194973973	2790919947	2790919947
10J[21]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10J[21]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	3	3	669508756.5	703724864.9	5194973973	3287057592	3287057592
11I[21]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11I[21]		Positive	GRUPPO 1-11	FX- MAX	1	1	4	4	669508756.5	703726553	4103746464	1552504129	1552504129
11J[12]		Negative	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11J[12]		Positive	GRUPPO	FX-	1	1	4	4	317231178.2	337986978.3	4103746464	1200226550	1200226550

Elem	Position	Positive/Negative	Lcom	Type	Top Class	Bot Class	Web Class	Sect. Class	Ma,Ed (kgf*cm)	Mc,Ed (kgf*cm)	Mpl,Rd (kgf*cm)	Mel,Rd (kgf*cm)	M_Rd (kgf*cm)
			1-3	MAX									

#### 7.4.2.2 Resistance to vertical shear

Il programma calcola e verifica l'instabilità a taglio della sezione.

Il momento plastico resistente ( $V_{pl,Rd}$ ) coincide con la resistenza della sezione in acciaio calcolata come segue:

$$V_{pl,Rd} = (A_v(f_y/\sqrt{3}))/\gamma_{MO} \quad \text{EN 1993-1-5, 6.2.6}$$

dove  $\gamma_{MO} = 1.05$  e gli altri valori dipendono dalla geometria della trave in acciaio.

La resistenza ad instabilità a taglio dell'anima della trave è data dalla formula:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \quad \text{EN 1993-1-5, 5.2}$$

dove  $V_{bw,Rd}$  è il contributo dell'anima e  $V_{bf,Rd}$  quello delle flange.

Viene pertanto verificato che:

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_b < 1$$

dove  $V_{Ed}$  è il taglio di analisi e  $V_b$  è il minimo taglio resistente fra quello plastico ( $V_{pl,Rd}$ ) e quello dato dall'instabilità ( $V_{b,Rd}$ ).

Inoltre il programma calcola l'interazione fra taglio, momento e sforzo normale come da EN 1993-1-5, 7.1 verificando che:

$V_{Ed}/V_{bw,Rd}$  sia minore di 1.

Elem	Position	Lcom	Type	Top Class	Bot Class	Web Class	Sect. Class	N_Ed (kgf)	M_Ed (kgf*cm)	V_Ed (kgf)	Vpl,Rd (kgf)	Vb,Rd (kgf)
2	I[6]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	1	1	4	4	-0.0001	1345.03	-1209013	3977903	1331429
2	J[10]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	1	1	4	4	-0.0001	2.13E+09	-993302	3977903	1331429
5	I[10]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	1	1	4	4	-0.0001	1.46E+09	-993302	4520344	1662993
5	J[18]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	1	1	4	4	-0.0001	3.08E+09	-672685	4520344	1662993
7	I[12]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	4	4	0	2.31E+09	993301.6	3977903	1331429
7	J[7]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	4	4	0	1345.881	1209013	3977903	1331429
8	I[18]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	1	1	3	3	-0.0001	3.01E+09	-672685	4489908	1659921
8	J[19]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	1	1	3	3	-0.0001	3.87E+09	-341057	4489908	1659921

9	I[19]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	1	1	3	3	-0.0001	3.87E+09	-341057	4489908	1659921
9	J[20]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	3	3	0	4.36E+09	341057.4	4489908	1659921
10	I[20]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	3	3	0	4.36E+09	341057.4	4489908	1659921
10	J[21]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	3	3	0	3.38E+09	672685.4	4489908	1659921
11	I[21]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	4	4	0	3.46E+09	672685.4	4520344	1662993
11	J[12]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	1	1	4	4	0	1.64E+09	993301.6	4520344	1662993

#### 7.4.2.3 Resistance to longitudinal shear

Si tratta della verifica dei pioli di collegamento tra trave in acciaio e soletta in calcestruzzo allo SLU.

Essi infatti devono essere idonei a garantire un'adeguata collaborazione tra i due materiali.

Sono stati adottati, per ogni trave, 4 pioli di collegamento di acciaio SS355 distanti 23 cm con le seguenti caratteristiche:

- altezza totale del piolo = 25 cm
- diametro del piolo= 2.0 cm
- in senso longitudinale hanno passo 10/20 cm

Per elementi di maggior dettaglio si vedano gli elaborati grafici in allegato al presente progetto.

Il passo dei pioli potrà variare in funzione della verifica a fatica degli stessi. Tale verifica si rimanda alla fase esecutiva del progetto in quanto non considerata rilevante in questa fase.

Elem	Position	Lcom	Type	V_L,Ed (kgf)	v_L,Ed (kgf/cm)	P_Rd (kgf)	v_L,Rd (kgf/cm)	v_Ed (kgf/cm <sup>2</sup> )
2	I[6]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	-6139.8	18.7809	95.363	19.0726	0.1878
2	J[10]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	-5087.61	15.5623	95.363	19.0726	0.1556
5	I[10]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	-5087.61	15.3705	95.363	19.0726	0.1537
5	J[18]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	-3573.1127	10.795	95.363	19.0726	0.1079
7	I[12]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	5087.61	15.5623	95.363	19.0726	0.1556
7	J[7]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	6139.8	18.7809	95.363	19.0726	0.1878
8	I[18]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	-3573.1127	9.0235	95.363	19.0726	0.0902
8	J[19]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	-2135.16	5.3921	95.363	19.0726	0.0539
9	I[19]	GRUPPO 1-3	FX-MIN	-2135.16	5.3921	95.363	19.0726	0.0539

9	J[20]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	2135.16	5.3921	95.363	19.0726	0.0539
10	I[20]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	2135.16	5.3921	95.363	19.0726	0.0539
10	J[21]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	3573.1125	9.0235	95.363	19.0726	0.0902
11	I[21]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	3573.1125	10.795	95.363	19.0726	0.1079
11	J[12]	GRUPPO 1-11	FX-MAX	5087.61	15.3705	95.363	19.0726	0.1537

#### 7.4.2.4 Verifica a deformabilità

Per quanto concerne la verifica a deformabilità si è determinato il massimo abbassamento dell'impalcato casusato dai carichi mobili (involuppo SLU) e si è rapportato al valore di L/150, valore ritenuto accettabile per la tipologia dell'opera in oggetto.

Il massimo spostamento in campata (si vedano immagini precedenti) è pari a  $f = 467.1$  mm.

L'abbassamento massimo ammissibile è pari a:

$$f_{\max} = L/150 = 60000/900 = 400.00 \text{ mm}$$

Essendo il valore ottenuto dal calcolo maggiore rispetto la freccia ammissibile lo si depura della freccia dovuta ai pesi propri, compreso il getto della soletta, mostrato nella figura sottostante.

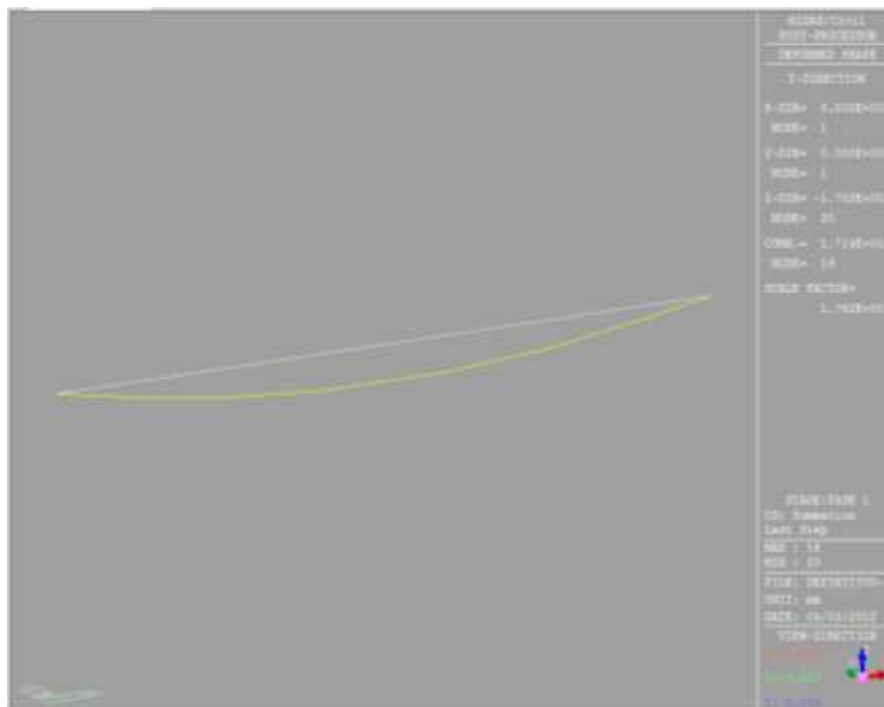


FIGURA 7-33 FRECCIA FASE 0 + FASE 1

Si ottiene:

$$f_{\max} = 467.10 - 171.40 = 295.70 \text{ mm}$$

Si adotta quindi una controfrecchia di costruzione pari a 180 mm.

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

## 8. DIMENSIONAMENTO ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE CURVA

In base alle reazioni e alle deformazioni esposte nel capitolo precedente si procede alla scelta degli isolatori.

Il committente ha richiesto l'utilizzo di isolatori a scorrimento a superficie curva. In questa fase di progetto si ipotizza di utilizzare un isolatore con attrito medio e con coefficiente di attrito in percentuale pari a 5.5 %.

### 8.1. ISOLATORI DI SPALLA

Si scelgono in base al carico massimo verticale agente sull'appoggio (circa 6000.00 KN):

ISOLATORE A SCORRIMENTO A SUPERFICIE CURVA con spostamento ammissibile di +/- 110 mm e raggio di curvatura pari a 2500

Per dettagli si rimanda agli elaborati grafici e alla modellazione degli stessi che avverrà nelle sottostrutture. Si riporta comunque una tabella riassuntiva che ne definisce le caratteristiche elastiche che verranno utilizzate nelle modellazioni successive.

<b>ISOLATORE A SCORRIMENTO SPALLA</b>								
<b>RAGGIO CURVATURA R</b>	2500 mm							
<b>COEFFICIENTE ATTRITO <math>\mu</math></b>	0.05							
<b>SPOSTAMENTO SLC</b>	150 mm							
<b>AZIONE ASSIALE</b>	6000 KN							

**$k_e = 4400.00$  KN/m**

**$\xi_e = 0.28937$**

RIGIDEZZA SISTEMA DI ISOLAMENTO

INDICE DI SMORZAMENTO VISCOSO

## 9. DIMENSIONAMENTO GIUNTO DI DILATAZIONE

---

Per "capacità di spostamento" dei giunti di dilatazione posti alle estremità dell'impalcato si intende la capacità di deformarsi in allungamento (dilatazione), di accorciarsi (contrazione) e di deformarsi trasversalmente (scorrimento). I giunti sono stati previsti secondo i seguenti indici prestativi:

- Devono garantire come capacità di spostamento, senza danneggiarsi, l'assorbimento degli spostamenti longitudinali e trasversali dovuti al normale esercizio dell'opera (SLE) per le variazioni termiche, l'azione di frenatura, l'azione del vento, le azioni dei carichi mobili e quelle dovute ai carichi permanenti portati;
- Devono garantire come capacità di spostamento, senza danneggiarsi, l'assorbimento degli spostamenti longitudinali e trasversali dovuti allo Stato Limite di Danno (SLD) in condizione sismica, opportunamente combinati con quelli derivanti dalle variazioni termiche e dai carichi permanenti portati;
- Devono garantire la fruibilità del ponte in condizioni sismiche violente (SLC) opportunamente combinato con le variazioni termiche e i carichi permanenti, anche se irreversibilmente danneggiati in termini di capacità di spostamento;
- Devono evitare, in termini di distanza strutturale tra la spalle e la testata della soletta, fenomeni longitudinali di martellamento per un sisma violento (SLC) opportunamente combinato con le variazioni termiche e i carichi permanenti.

In base alle dilatazioni presenti sull'impalcato (si vedano immagini riportate nei capitoli precedenti) si prevede un giunto che abbia capacità di spostamento longitudinale pari a +/- 220 mm.



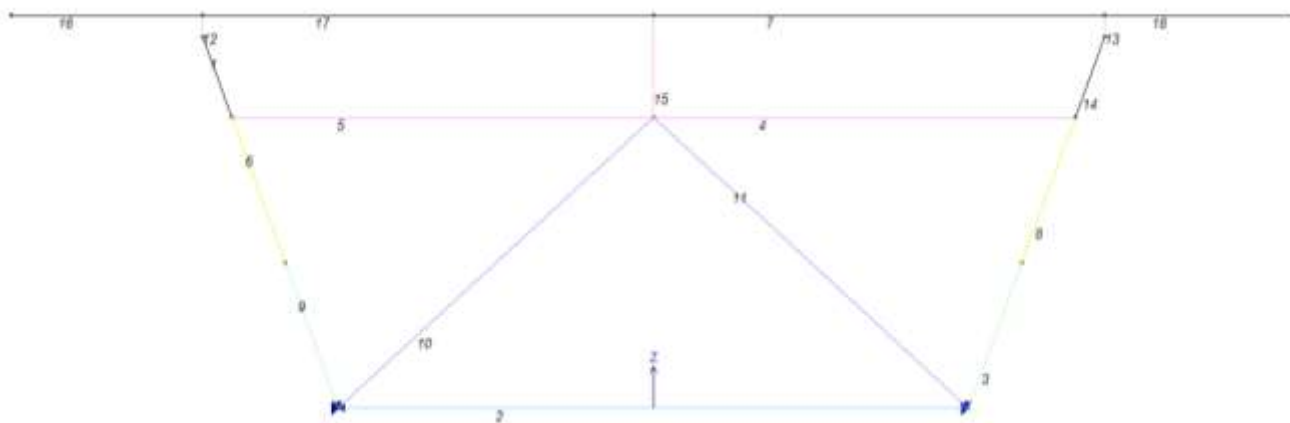
## 10. DIMENSIONAMENTO DEI CONTROVENTI IN ACCIAIO

### 10.1. MODELLAZIONE

La modellazione dei controventi viene effettuata tramite l'ausilio del programma PRO\_SAP RY2011 (versione 9.2.0) prodotto dalla 2si di Ferrara.

Le verifiche sono effettuate in ottemperanza alla normativa vigente.

Il traverso è modellato con elementi tipo "asta" ed è costituito dalle aste di cui in figura.



**FIGURA 10-1 NUMERAZIONE DELLE ASTE**

Le aste presentano la geometria riportata nelle tabelle sottostanti. Sono presenti tratti infinitamente rigidi di collegamento fra parte metallica e soletta.

Id	Tipo	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
		cm2	cm2	cm2	cm4	cm4	cm4	cm3	cm3	cm3	cm3
1	SOLETTA CLS	1.225e+04	1.021e+04	1.021e+04	4.687e+06	1.251e+08	1.251e+06	7.146e+05	7.146e+04	1.072e+06	1.072e+05
2	ANIMA SOPRA	164.00	0.0	0.0	187.48	8566.67	4.682e+04	428.33	1335.20	514.00	1602.24
3	ANIMA MEZZO	184.00	0.0	0.0	214.14	8573.33	7.561e+04	428.67	1857.12	514.40	2228.55
4	ANIMA SOTTO	224.00	0.0	0.0	267.48	8586.67	1.614e+05	429.33	3125.31	515.20	3750.38



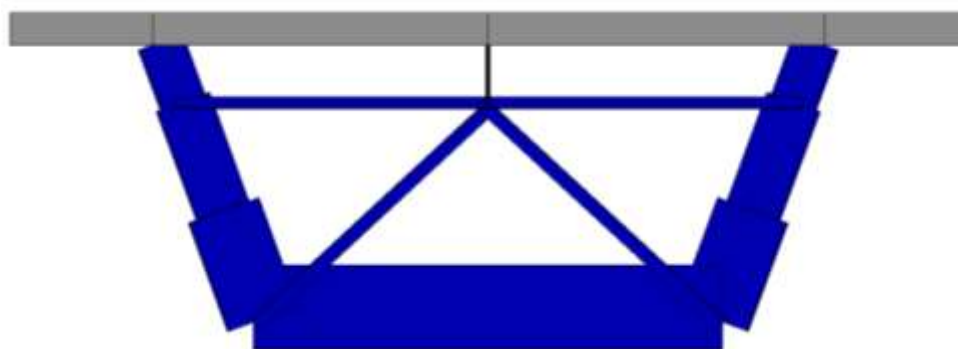
Id	Tipo	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
5	PIATTABANDA	280.00	0.0	0.0	371.95	2.089e+04	2.576e+05	835.73	4192.87	1002.88	5031.44
6	2 LU 150x15 DIAGONALI	86.00	0.0	0.0	64.10	3736.38	1796.00	241.06	167.00	289.27	200.40
7	2 LU 120x12 TRAVERSO	55.00	0.0	0.0	26.26	1572.55	736.00	125.80	85.40	150.96	102.48

La tabella successiva invece ne descrive l'attribuzione alle aste.

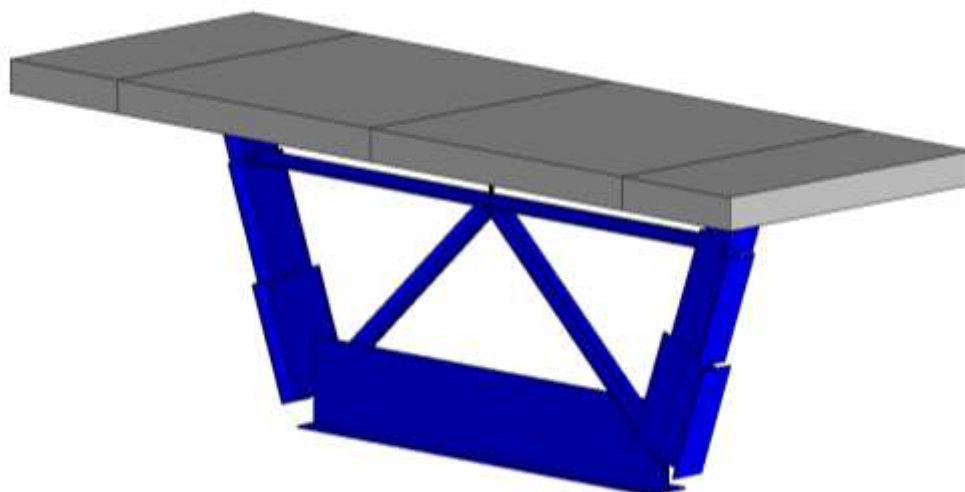
Elem.	Note	Nodo I	Nodo J	Mat.	Sez.	Rotaz.	Svincolo I	Svincolo J	Wink V	Wink O
						gradi			daN/cm3	daN/cm3
1	Trave	11	7	12	2	180.00				
2	Trave	2	1	12	5	180.00				
3	Trave	1	8	12	4	180.00				
4	Trave	5	6	12	7					
5	Trave	7	5	12	7					
6	Trave	7	9	12	3	180.00				
7	Trave	10	4	4	1					
8	Trave	8	6	12	3	180.00				
9	Trave	9	2	12	4	180.00				
10	Trave	2	5	12	6	180.00				
11	Trave	5	1	12	6	180.00				
12	Pilas.	11	3	47	8					
13	Pilas.	12	4	47	8					
14	Trave	6	12	12	2	180.00				
15	Pilas.	5	10	47	8					
16	Trave	13	3	4	1					
17	Trave	3	10	4	1					
18	Trave	4	14	4	1					

Le diagonali e il traverso intermedio sono costituiti da profili ad "L" accoppiati.

Per quanto concerne le nervature d'anima e piattabande sono costituite da piatti a sezione variabile con larghezza d'anima collaborante su ciascun lato della nervatura calcolata e approssimata in difetto (a favore di sicurezza) con la formula  $15 \cdot \varepsilon \cdot t$  (dove  $t$  è lo spessore e  $\varepsilon$  ha valore 0.81 per acciaio S355)



**FIGURA 10-2 VISTA MODELLAZIONE 3D**



**FIGURA 10-3 VISTA MODELLAZIONE 3D**

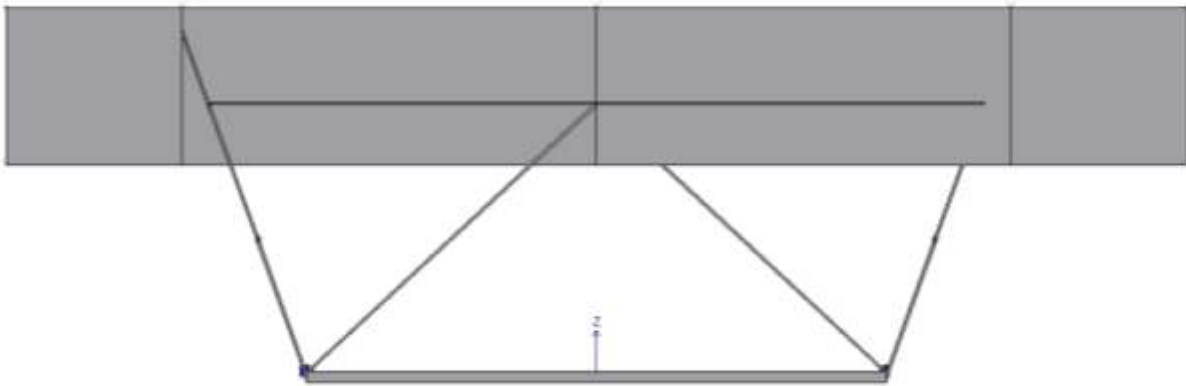
## **10.2. CARICHI AGENTI**

Alla struttura verranno applicati i carichi descritti nel prosieguo.

Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma.

L'immagine seguente mostra il caso di carico modellato.

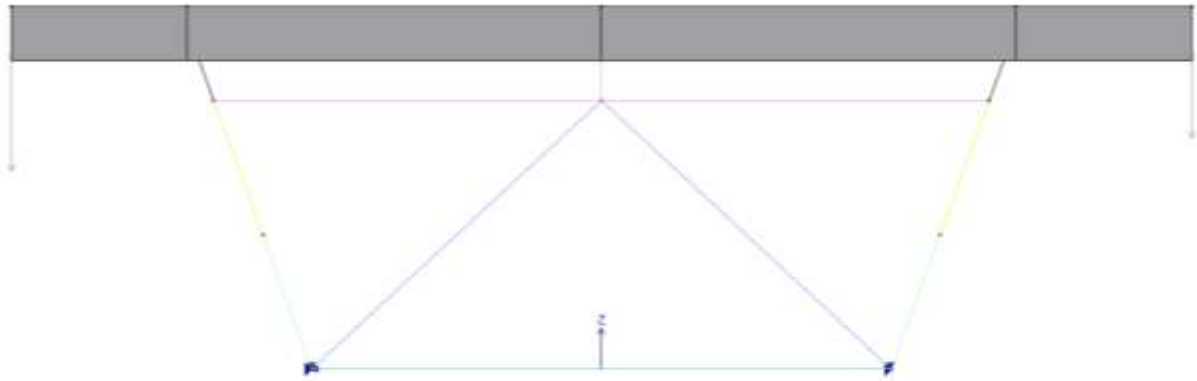


**FIGURA 10-4 PESO PROPRIO**

Permanenti

Peso guard rail	3.50 KN
Peso impianti	3.50 KN
Peso cordoli	10.50 KN
Peso neri	10.50 KN/ml

L'immagine seguente mostra il caso di carico modellato.

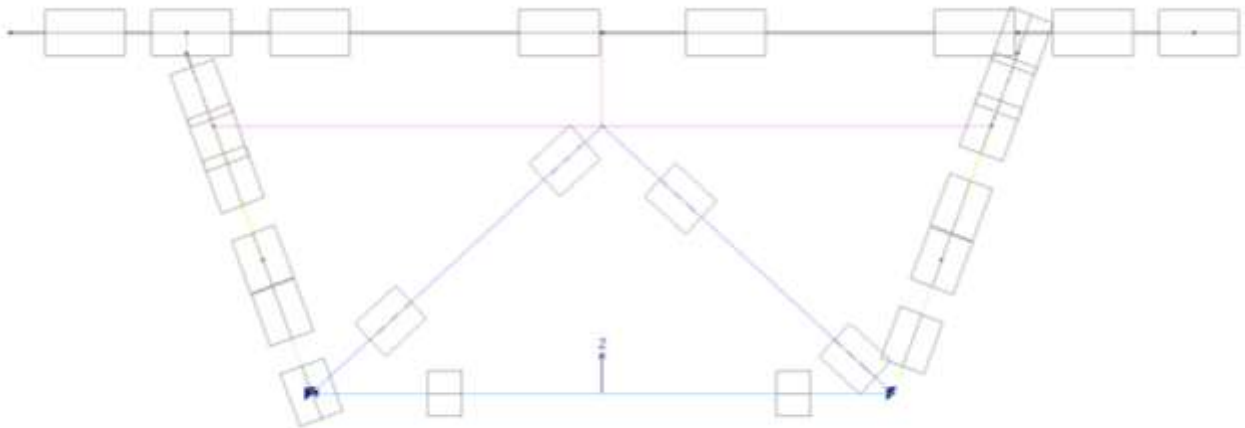


**FIGURA 10-5 CARICHI PERMANENTI**

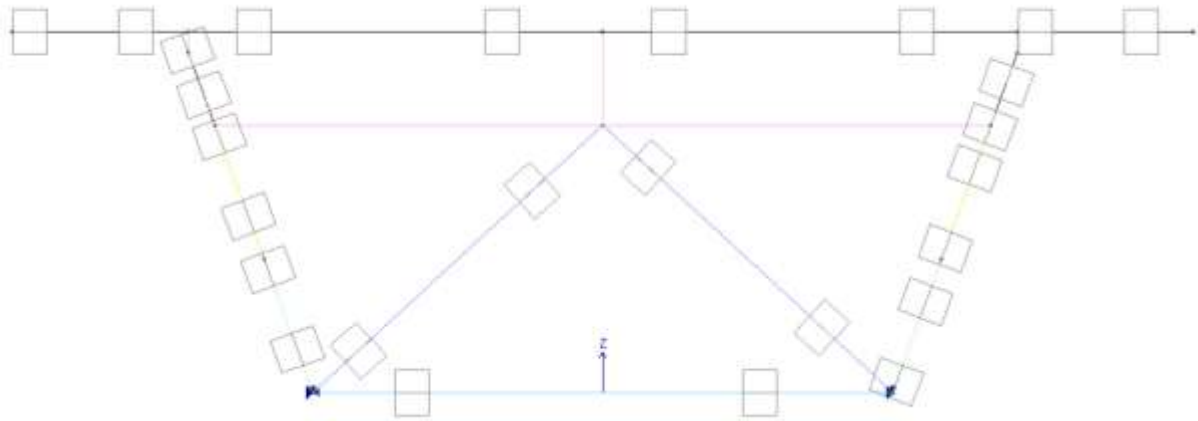
Temperatura

Vengono applicate tre diverse temperature come descritto in precedenza.

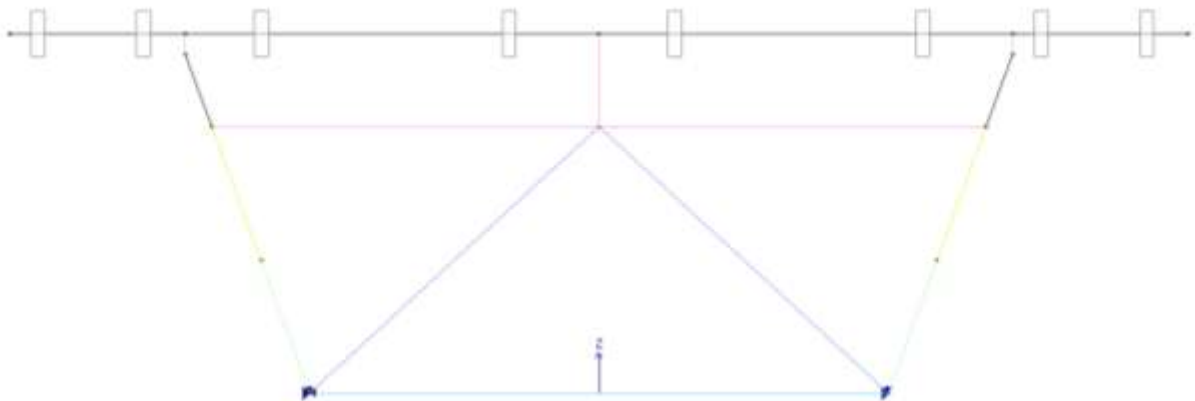
Le immagini seguenti ne mostrano l'applicazione.



**FIGURA 10-6 TEMPERATURA 1**



**FIGURA 10-7 TEMPERATURA 2**

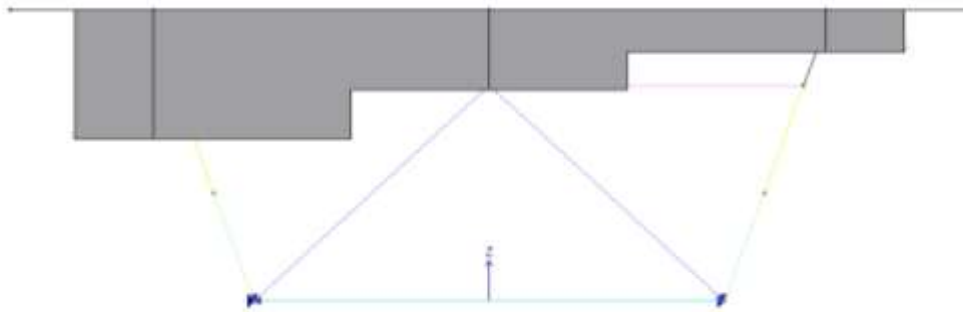


**FIGURA 10-8 TEMPERATURA 3**

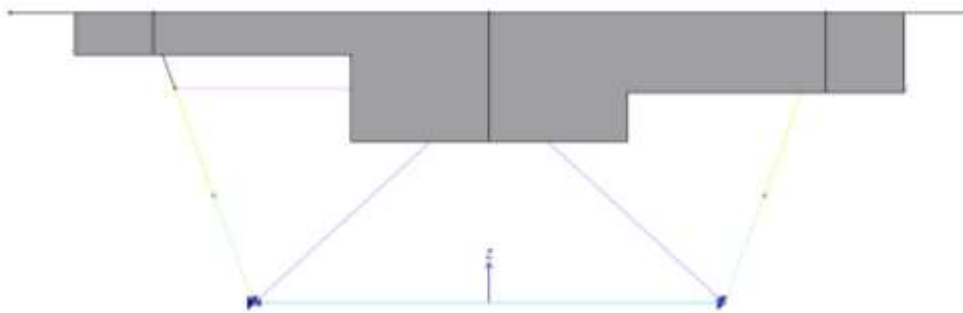
**Carico accidentale stradale**

I carichi mobili sono stati applicati come carichi “viaggianti” (“moving load”) secondo configurazioni equivalenti ai carichi mobili previsti dalla norma e tenendo conto dell’effetto di diffusione dei carichi concentrati nel corpo della soletta.

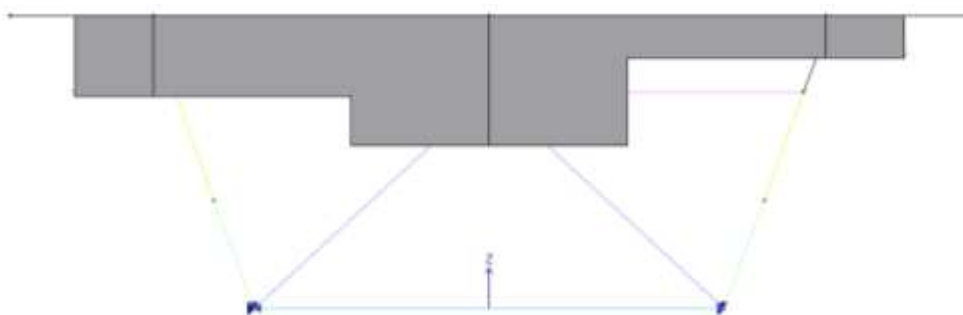
Sono state inseriti 6 casi di carico mobili diversi per simulare tutte le combinazioni di corsie possibili.



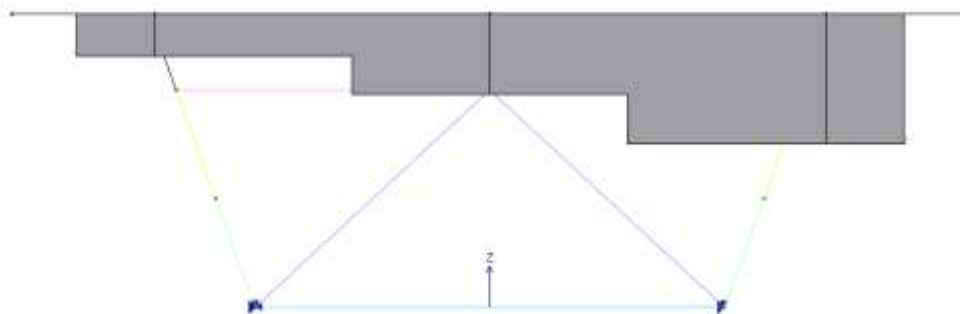
**FIGURA 10-9 VEICOLO 1**



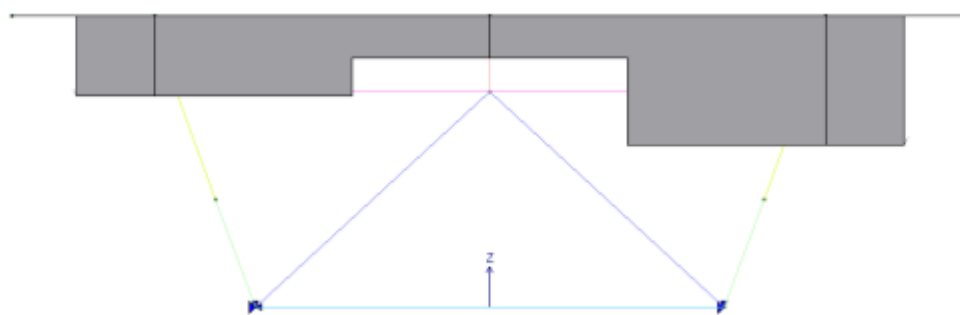
**FIGURA 10-10 VEICOLO 2**



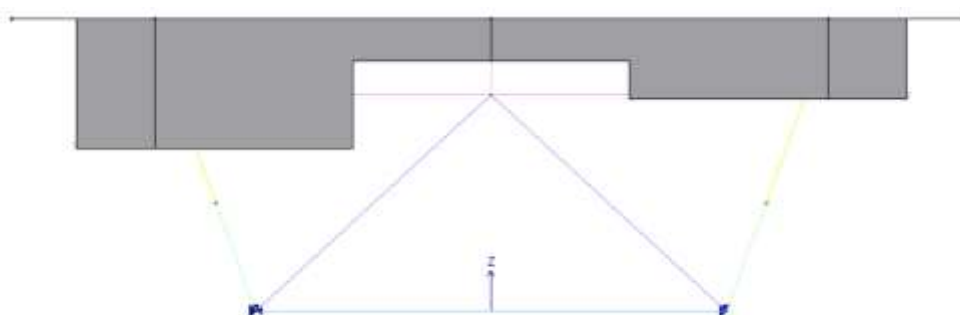
**FIGURA 10-11 VEICOLO 3**



**FIGURA 10-12 VEICOLO 4**



**FIGURA 10-13 VEICOLO 5**



**FIGURA 10-14 VEICOLO 6**

Le tabelle seguenti mostrano il valore delle azioni inserite e la modellazione utilizzata.

Tipo	carico concentrato nodale
------	---------------------------



Id	Tipo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		daN	daN	daN	daN cm	daN cm	daN cm
1	guard rail	0.0	0.0	-350.00	0.0	0.0	0.0
2	impianti	0.0	0.0	-350.00	0.0	0.0	0.0
3	cordoli	0.0	0.0	-1050.00	0.0	0.0	0.0

Tipo	carico distribuito globale su trave
------	-------------------------------------

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz	mx	my	mz
		cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN	daN	daN
4	neri	0.0	0.0	0.0	-10.50	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	-10.50	0.0	0.0	0.0
10	veicolo 1 asta 1	70.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		155.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
12	veicolo 1 asta 2	0.0	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		215.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
13	veicolo 1 asta 2*	215.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
14	veicolo 1 asta 3	0.0	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		150.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
15	veicolo 1 asta 3*	150.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
16	veicolo 1 asta 4	0.0	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		85.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
17	veicolo 2 asta 1	70.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		155.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
18	veicolo 2 asta 2	0.0	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		215.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
19	veicolo 2 asta 2*	215.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
20	veicolo 2 asta 3	0.0	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		150.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0



Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz	mx	my	mz
21	veicolo 2 asta 3*	150.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
22	veicolo 2 asta 4	0.0	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		85.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
23	veicolo 3 asta 1	70.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		155.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
24	veicolo 3 asta 2	0.0	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		215.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
25	veicolo 3 asta 2*	215.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
26	veicolo 3 asta 3	0.0	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		150.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
27	veicolo 3 asta 3*	150.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
28	veicolo 3 asta 4	0.0	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		85.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
29	veicolo 4 asta 1	70.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		155.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
30	veicolo 4 asta 2	0.0	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		215.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
31	veicolo 4 asta 2*	215.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
32	veicolo 4 asta 3	0.0	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		150.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
33	veicolo 4 asta 3*	150.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
34	veicolo 4 asta 4	0.0	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		85.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
35	veicolo 5 asta 1	70.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		155.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
36	veicolo 5 asta 2	0.0	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		215.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
37	veicolo 5 asta 2*	215.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0



Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz	mx	my	mz
		365.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
38	veicolo 5 asta 3	0.0	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		150.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
39	veicolo 5 asta 3*	150.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
40	veicolo 5 asta 4	0.0	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		85.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
41	veicolo 6 asta 1	70.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		155.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
42	veicolo 6 asta 2	0.0	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
		215.00	0.0	0.0	-231.50	0.0	0.0	0.0
43	veicolo 6 asta 2*	215.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
44	veicolo 6 asta 3	0.0	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
		150.00	0.0	0.0	-75.45	0.0	0.0	0.0
45	veicolo 6 asta 3*	150.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		365.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
46	veicolo 6 asta 4	0.0	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0
		85.00	0.0	0.0	-142.10	0.0	0.0	0.0

Tipo variazione termica applicata a trave

Id	Tipo	DT uniforme	DT iniziale	DT finale	DT 2-2 ini	DT 2-2 fin	DT 3-3 ini	DT 3-3 fin
		C	C	C	C	C	C	C
5	temp 1 sol sup	70.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	temp 1 controventi	49.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	temp 1 piatt inf	30.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	temp 2	-30.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	ritiro	-12.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	PERMANENTI	Nodo: 13 Azione : cordoli
			Nodo: 13 Azione : guard rail
			Nodo: 13 Azione : impianti
			Nodo: 14 Azione : cordoli
			Nodo: 14 Azione : guard rail
			D2 : 7 Azione : neri
			D2 : 16 Azione : neri
			D2 : 17 Azione : neri
			D2 : 18 Azione : neri
3	Qk	TEMP 1	D2 : 1 Azione : temp 1 controventi
			D2 : 2 Azione : temp 1 piatt inf
			D2 : 3 Azione : temp 1 controventi
			D2 : 6 Azione : temp 1 controventi
			D2 : 7 Azione : temp 1 sol sup
			D2 :da 8 a 11 Azione : temp 1 controventi
			D2 : 14 Azione : temp 1 controventi
			D2 : 16 Azione : temp 1 sol sup
			D2 : 17 Azione : temp 1 sol sup
			D2 : 18 Azione : temp 1 sol sup
4	Qk	TEMP 2	D2 : 1 Azione : temp 2
			D2 : 2 Azione : temp 2
			D2 : 3 Azione : temp 2
			D2 : 6 Azione : temp 2
			D2 : 7 Azione : temp 2
			D2 :da 8 a 11 Azione : temp 2
			D2 : 14 Azione : temp 2
			D2 : 16 Azione : temp 2
			D2 : 17 Azione : temp 2
			D2 : 18 Azione : temp 2
5	Qk	TEMP 3	D2 : 7 Azione : ritiro
			D2 : 16 Azione : ritiro
			D2 : 17 Azione : ritiro



CDC	Tipo	Sigla Id	Note
			D2 : 18 Azione : ritiro
6	Qk	VEICOLO 1	D2 : 7 Azione : veicolo 1 asta 3
			D2 : 7 Azione : veicolo 1 asta 3*
			D2 : 16 Azione : veicolo 1 asta 1
			D2 : 17 Azione : veicolo 1 asta 2
			D2 : 17 Azione : veicolo 1 asta 2*
			D2 : 18 Azione : veicolo 1 asta 4
7	Qk	VEICOLO 2	D2 : 7 Azione : veicolo 2 asta 3
			D2 : 7 Azione : veicolo 2 asta 3*
			D2 : 16 Azione : veicolo 2 asta 1
			D2 : 17 Azione : veicolo 2 asta 2
			D2 : 17 Azione : veicolo 2 asta 2*
			D2 : 18 Azione : veicolo 2 asta 4
8	Qk	VEICOLO 3	D2 : 7 Azione : veicolo 3 asta 3
			D2 : 7 Azione : veicolo 3 asta 3*
			D2 : 16 Azione : veicolo 3 asta 1
			D2 : 17 Azione : veicolo 3 asta 2
			D2 : 17 Azione : veicolo 3 asta 2*
			D2 : 18 Azione : veicolo 3 asta 4
9	Qk	VEICOLO 4	D2 : 7 Azione : veicolo 4 asta 3
			D2 : 7 Azione : veicolo 4 asta 3*
			D2 : 16 Azione : veicolo 4 asta 1
			D2 : 17 Azione : veicolo 4 asta 2
			D2 : 17 Azione : veicolo 4 asta 2*
			D2 : 18 Azione : veicolo 4 asta 4
10	Qk	VEICOLO 5	D2 : 7 Azione : veicolo 5 asta 3
			D2 : 7 Azione : veicolo 5 asta 3*
			D2 : 16 Azione : veicolo 5 asta 1
			D2 : 17 Azione : veicolo 5 asta 2
			D2 : 17 Azione : veicolo 5 asta 2*
			D2 : 18 Azione : veicolo 5 asta 4
11	Qk	VEICOLO 6	D2 : 7 Azione : veicolo 6 asta 3
			D2 : 7 Azione : veicolo 6 asta 3*



CDC	Tipo	Sigla Id	Note
			D2 : 16 Azione : veicolo 6 asta 1
			D2 : 17 Azione : veicolo 6 asta 2
			D2 : 17 Azione : veicolo 6 asta 2*
			D2 : 18 Azione : veicolo 6 asta 4

La tabella seguente mostra invece le combinazioni utilizzate.

Le combinazioni rispecchiano quanto descritto nei capitoli precedenti e la normativa vigente.

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	SLU 1
2	SLU	SLU 2
3	SLU	SLU 3
4	SLU	SLU 4
5	SLU	SLU 5
6	SLU	SLU 6
7	SLU	SLU 7
8	SLU	SLU 8
9	SLU	SLU 9
10	SLU	SLU 10
11	SLU	SLU 11
12	SLU	SLU 12
13	SLU	SLU 13
14	SLU	SLU 14
15	SLU	SLU 15
16	SLU	SLU 16
17	SLU	SLU 17
18	SLU	SLU 18
19	SLU	SLU 19
20	SLU	SLU 20
21	SLU	SLU 21
22	SLU	SLU 22
23	SLU	SLU 23
24	SLU	SLU 24



AUTOSTRADA  
REGIONALE  
CISPADANA

REGIONE EMILIA ROMAGNA

AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA  
dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO DELLE VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE

D04-08 - Raccordo Bondeno-Cento-Autostrada Cispadana

DPO12 - PONTE SUL COLLETTORE BURANA - RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO - IMPALCATO

Cmb	Tipo	Sigla Id
25	SLU	SLU 25
26	SLU	SLU 26
27	SLU	SLU 27
28	SLU	SLU 28
29	SLU	SLU 29
30	SLU	SLU 30
31	SLU	SLU 31
32	SLU	SLU 32
33	SLU	SLU 33
34	SLU	SLU 34
35	SLU	SLU 35
36	SLU	SLU 36
37	SLU	SLU 37
38	SLU	SLU 38
39	SLU	SLU 39
40	SLU	SLU 40
41	SLU	SLU 41
42	SLU	SLU 42
43	SLU	SLU 43
44	SLU	SLU 44
45	SLU	SLU 45
46	SLU	SLU 46
47	SLU	SLU 47
48	SLU	SLU 48
49	SLU	SLU 49
50	SLU	SLU 50
51	SLU	SLU 51
52	SLU	SLU 52
53	SLU	SLU 53
54	SLU	SLU 54
55	SLU	SLU 55
56	SLU	SLU 56
57	SLU	SLU 57



Cmb	Tipo	Sigla Id
58	SLU	SLU 58
59	SLU	SLU 59
60	SLU	SLU 60
61	SLU	SLU 61
62	SLU	SLU 62
63	SLU	SLU 63
64	SLU	SLU 64

Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
1	1.35	1.35	0.0	0.0	1.20	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.35	1.35	0.72	0.0	1.20	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.35	1.35	0.0	0.72	1.20	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.00	1.00	0.72	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.00	1.00	0.0	0.72	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1.35	1.35	1.20	0.0	1.20	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1.35	1.35	0.0	1.20	1.20	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	1.00	1.35	1.20	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1.00	1.35	0.0	1.20	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	1.30	1.30	1.50	0.0	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	1.30	1.30	0.0	1.50	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1.00	1.30	1.50	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	1.00	1.30	0.0	1.50	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	1.35	1.35	0.0	0.0	1.20	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0
16	1.35	1.35	0.72	0.0	1.20	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0
17	1.35	1.35	0.0	0.72	1.20	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0
18	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0
19	1.00	1.00	0.72	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0
20	1.00	1.00	0.0	0.72	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0
21	1.35	1.35	1.20	0.0	1.20	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0
22	1.35	1.35	0.0	1.20	1.20	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0
23	1.00	1.35	1.20	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0





Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
24	1.00	1.35	0.0	1.20	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	0.0
25	1.35	1.35	0.0	0.0	1.20	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0
26	1.35	1.35	0.72	0.0	1.20	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0
27	1.35	1.35	0.0	0.72	1.20	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0
28	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0
29	1.00	1.00	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0
30	1.00	1.00	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0
31	1.35	1.35	1.20	0.0	1.20	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0
32	1.35	1.35	0.0	1.20	1.20	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0
33	1.00	1.35	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0
34	1.00	1.35	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0
35	1.35	1.35	0.0	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0
36	1.35	1.35	0.72	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0
37	1.35	1.35	0.0	0.72	1.20	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0
38	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0
39	1.00	1.00	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0
40	1.00	1.00	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0
41	1.35	1.35	1.20	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0
42	1.35	1.35	0.0	1.20	1.20	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0
43	1.00	1.35	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0
44	1.00	1.35	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0
45	1.35	1.35	0.0	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0
46	1.35	1.35	0.72	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0
47	1.35	1.35	0.0	0.72	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0
48	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0
49	1.00	1.00	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0
50	1.00	1.00	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0
51	1.35	1.35	1.20	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0
52	1.35	1.35	0.0	1.20	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0
53	1.00	1.35	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0
54	1.00	1.35	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0
55	1.35	1.35	0.0	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35
56	1.35	1.35	0.72	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35

Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
57	1.35	1.35	0.0	0.72	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35
58	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35
59	1.00	1.00	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35
60	1.00	1.00	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35
61	1.35	1.35	1.20	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01
62	1.35	1.35	0.0	1.20	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01
63	1.00	1.35	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01
64	1.00	1.35	0.0	1.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01

### 10.3. SOLLECITAZIONI

Si riportano immagini che rappresentano le massime sollecitazioni agenti.

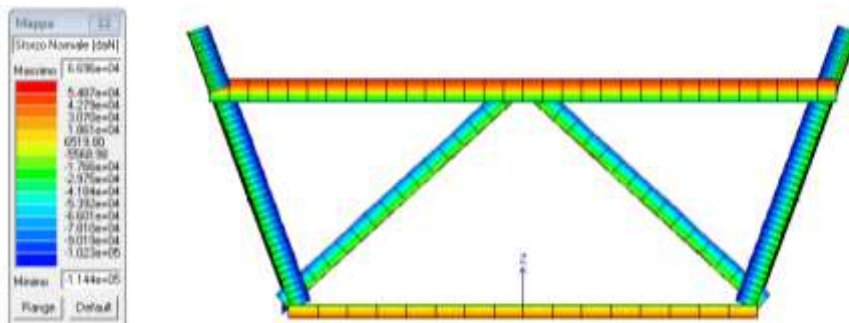


FIGURA 10-15 INVILUPPO SFORZO NORMALE

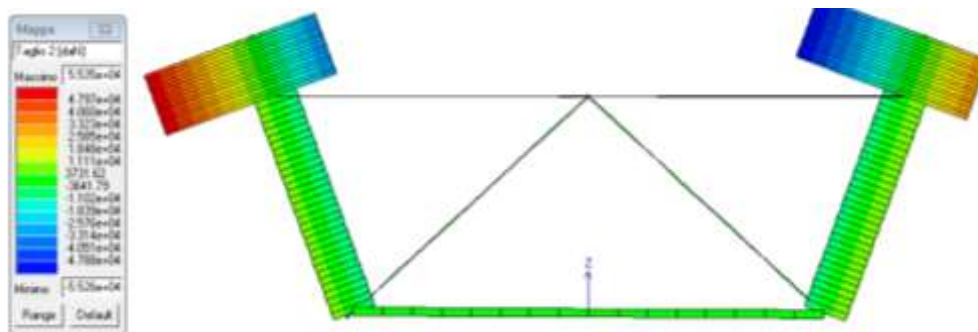


FIGURA 10-16 INVILUPPO TAGLIO

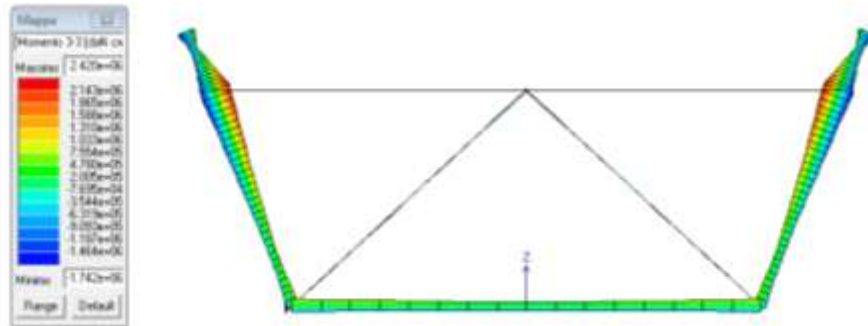


FIGURA 10-17 INVILUPPO MOMENTO

## 10.4. VERIFICHE

### 10.4.1. Tensioni

Il programma di calcolo è in grado di fornire i valori di tensione normale conseguenti ad M+N e della tensione dovuta al taglio V+T in funzione della geometria delle sezioni.

Le figure sottostanti riportano quanto sopra esposto.

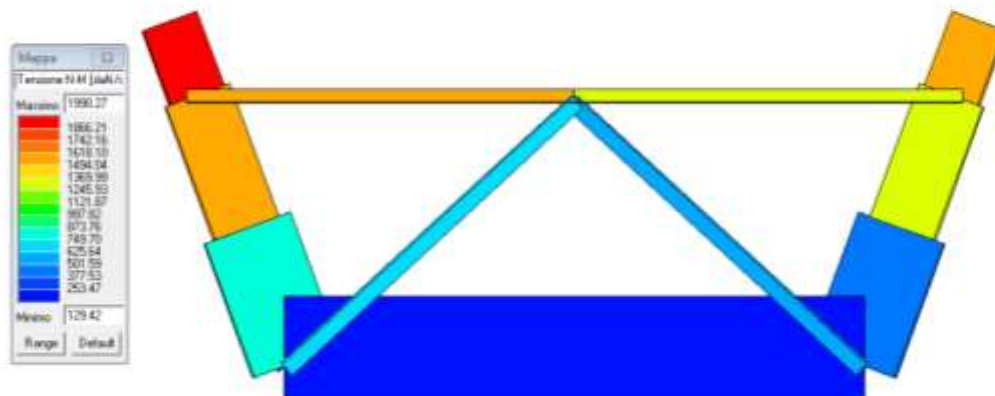


FIGURA 10-18 TENSIONE M+N MASSIMA

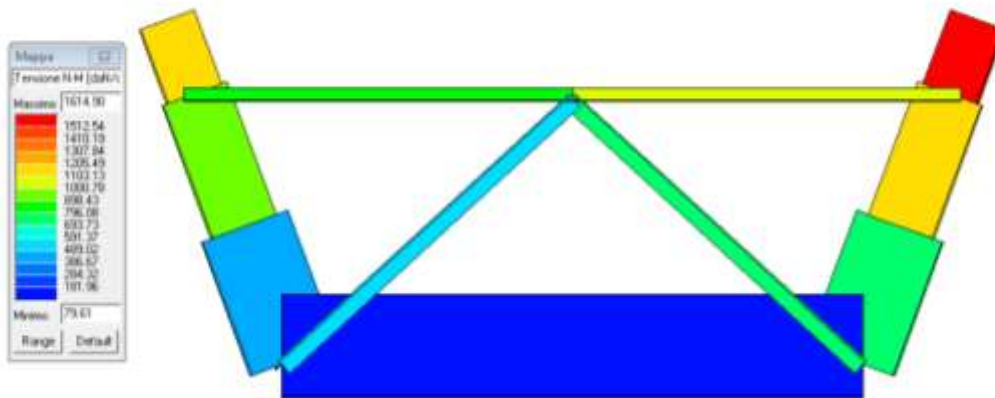


FIGURA 10-19 TENSIONE M+N MINIMA

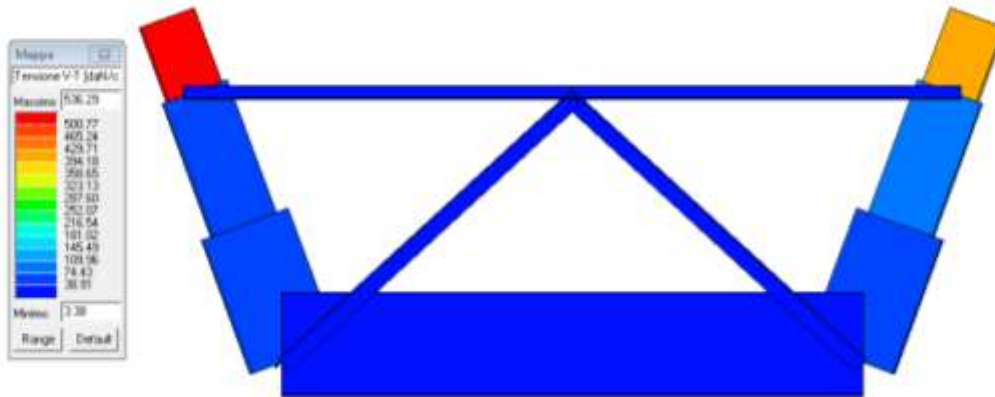


FIGURA 10-20 TENSIONE V+T MASSIMA

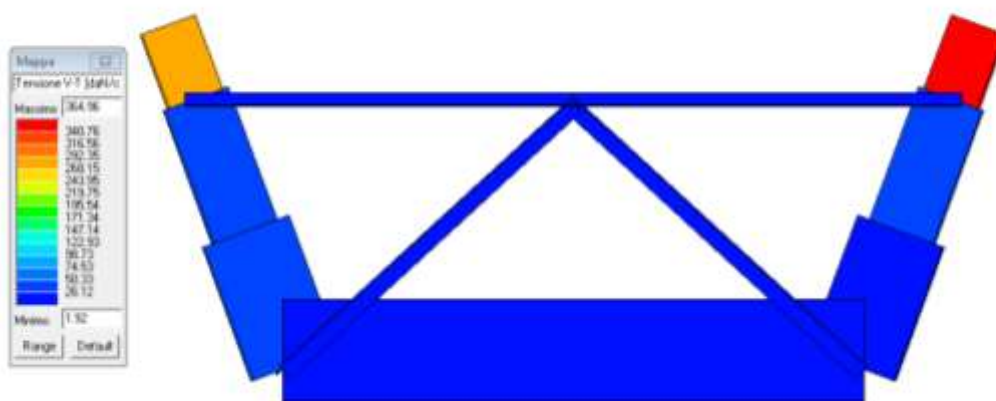


FIGURA 10-21 TENSIONE V+T MINIMA

Le tensioni ideali di calcolo risultano:

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = (1991.00^2 + 3 \cdot 540.00^2)^{0.5} = 219.97 \text{ MPa}$$

La tensione limite riferita all'acciaio utilizzato (S355) è pari a 338 MPa.

La verifica risulta quindi soddisfatta.

### 10.4.2. Stabilità

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità delle diagonali e del traverso si possono vedere nelle immagini sottostanti.

La verifica di stabilità delle aste composte da elementi ravvicinati collegati con imbottiture si esegue come per un'asta semplice ( $L_0$ ) qualora la distanza tra le imbottiture sia inferiore a  $15 i_{min}$  espresso in millimetri.

Si trascurano le verifiche di stabilità delle nervature d'anima in quanto elementi con snellezza ridotta.

Per quanto riguarda le diagonali si ha:

$$L_0 = 2.15 \text{ m}$$

$$L_{0v} = 0.4 \text{ m}$$

$$N_d \text{ max} = - 905.20 \text{ kN}$$

Software interface for structural analysis of a double channel section. The interface includes a table of section properties, a diagram of the section, and a summary of calculated values.

**Table of Section Properties:**

designation	g (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r1 (mm)	r2 (mm)
L 120 x 120 x 18	31.5	120	120	18.00	13.00	6.50
L 150 x 150 x 14	31.6	150	150	14.00	16.00	8.00
L 150 x 150 x 15	33.8	150	150	15.00	16.00	8.00
L 140 x 140 x 17	35.3	140	140	17.00	15.00	7.50
L 150 x 150 x 16	35.9	150	150	16.00	16.00	8.00
L 160 x 160 x 15	38.2	160	160	15.00	17.00	8.50
L 150 x 150 x 18	40.1	150	150	18.00	16.00	8.00
L 160 x 160 x 17	40.7	160	160	17.00	17.00	8.50
L 180 x 180 x 16	43.5	180	180	16.00	18.00	9.00
L 200 x 200 x 16	49.5	200	200	16.00	18.00	9.00
L 180 x 180 x 18	48.6	180	180	18.00	18.00	9.00

**Diagram of Section:** A cross-section of a double channel section with height  $h$ , flange width  $b$ , flange thickness  $t$ , and web thickness  $d$ . The  $y$  and  $z$  axes are shown.

**Summary of Calculated Values:**

Property	Value
g (kg/m)	67.6
h (mm)	150
b (mm)	150
t (mm)	15
r1 (mm)	16
r2 (mm)	8
A (cm <sup>2</sup> )	88.04
I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	1.796
I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	3.347
W <sub>z</sub> (cm <sup>3</sup> )	223.2
I <sub>u</sub> (cm <sup>4</sup> )	1.426
I <sub>v</sub> (cm <sup>4</sup> )	370.2
W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	167.0
I <sub>u</sub> (cm <sup>4</sup> )	5.757
I <sub>v</sub> (cm <sup>4</sup> )	2.933
N <sub>Ed</sub> (kN)	2.258
N <sub>Ed</sub> (kN)	2.910
N <sub>Ed</sub> (kN)	2.631

**Classificazione Sezione:** Classe Sezione: Compressione 4

La verifica di stabilità è soddisfatta come rappresentato nella figura che segue in quanto  $N_{v,Rd}$  è pari a 2910.00 KN.

Per quanto riguarda il traverso si ha:

$$L_0 = 3.15 \text{ m}$$

$L_{ov} = 0.35 \text{ m}$

$N_d \text{ max} = - 443.40 \text{ kN}$

L Uguali  
 L Disuguali

Doppi  
 Accosta lato corto  
 d (mm)

Ordina per  
 y  
 ly  
 g

Acciaio   $f_y$  (N/mm<sup>2</sup>)   $f_u$

Lunghezze di libera inflessione [m]  
 $l_{oy}$    $l_{oz}$    $l_{ov}$

designation	g (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r1 (mm)	r2 (mm)
L 140 x 140 x 10	21.4	140	140	10.00	15.00	7.50
<b>L 120 x 120 x 12</b>	<b>21.6</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>12.00</b>	<b>13.00</b>	<b>6.50</b>
L 150 x 150 x 10	23.0	150	150	10.00	16.00	8.00
L 100 x 100 x 16	23.2	100	100	16.00	12.00	6.00
L 120 x 120 x 13	23.3	120	120	13.00	13.00	6.50
L 130 x 130 x 12	23.5	130	130	12.00	14.00	7.00
L 120 x 120 x 15	26.6	120	120	15.00	13.00	6.50
L 130 x 130 x 14	27.2	130	130	14.00	14.00	7.00
L 150 x 150 x 12	27.3	150	150	12.00	16.00	8.00
L 140 x 140 x 13	27.4	140	140	13.00	15.00	7.50
L 130 x 130 x 16	30.9	130	130	16.00	14.00	7.00

$N_{y/Rd}$  [kN]   $N_{z/Rd}$  [kN]

$N_{y/Rd}$  [kN]

Classe Sezione  
 Compressione

g (kg/m)	<input type="text" value="43.2"/>	A (cm <sup>2</sup> )	<input type="text" value="55.08"/>
h (mm)	<input type="text" value="120"/>	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	<input type="text" value="735.4"/>
b (mm)	<input type="text" value="120"/>	$W_y$ (cm <sup>3</sup> )	<input type="text" value="85.47"/>
t (mm)	<input type="text" value="12"/>	$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	<input type="text" value="1.370"/>
r1 (mm)	<input type="text" value="13"/>	$W_z$ (cm <sup>3</sup> )	<input type="text" value="114.2"/>
r2 (mm)	<input type="text" value="6.5"/>	$I_u$ (cm <sup>4</sup> )	<input type="text" value="583.7"/>
		$I_v$ (cm <sup>4</sup> )	<input type="text" value="151.6"/>
		$W_z$ (cm <sup>3</sup> )	<input type="text" value="4.988"/>
		$I_u$ (cm <sup>4</sup> )	<input type="text" value="4.504"/>
		$I_v$ (cm <sup>4</sup> )	<input type="text" value="2.346"/>

La verifica di stabilità è soddisfatta come rappresentato nella figura che segue in quanto  $N_{vb,Rd}$  è pari a 1863.00 KN.





## 11. DIMENSIONAMENTO DELLA SOLETTA IN CEMENTO ARMATO

Si rammenta che la verifica delle armature longitudinali di soletta viene effettuata in automatico, come descritto in precedenza, dal programma di calcolo Midas Civil.

In questo capitolo si verificherà la sezione trasversale di soletta che è anche quella più sollecitata (presenza carichi mobili).

### 11.1. MODELLAZIONE E CARICHI

Per quanto concerne la modellazione si adotta lo stesso modello utilizzato nel capitolo 10 per il dimensionamento degli elementi in acciaio trasversali ponendo però attenzione alle sollecitazioni agenti sulla soletta che ricordiamo avere sezione 350 cm \* 35 cm.

Si rimanda al capitolo 10 per quanto concerne la modellazione delle aste e i carichi inseriti.

La tabella seguente mostra le combinazioni agli stati limite di esercizio inserite per effettuare suddette verifiche nella soletta che non erano presenti nella modellazione precedente.

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLE	RARA 1
2	SLE	RARA 2
3	SLE	RARA 3
4	SLE	RARA 4
5	SLE	RARA 5
6	SLE	RARA 6
7	SLE	RARA 7
8	SLE	RARA 8
9	SLE	RARA 9
10	SLE	RARA 10
11	SLE	RARA 11
12	SLE	RARA 12
13	SLE	RARA 13
14	SLE	RARA 14
15	SLE	RARA 15
16	SLE	RARA 16



Cmb	Tipo	Sigla Id
17	SLE	RARA 17
18	SLE	RARA 18
19	SLE	RARA 19
20	SLE	RARA 20
21	SLE	RARA 21
22	SLE	RARA 22
23	SLE	RARA 23
24	SLE	RARA 24
25	SLE	RARA 25
26	SLE	RARA 26
27	SLE	RARA 27
28	SLE	RARA 28
29	SLE	RARA 29
30	SLE	RARA 30
31	SLE	RARA 31
32	SLE	RARA 32

Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
1	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.00	1.00	0.60	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.00	1.00	0.0	0.60	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0
9	1.00	1.00	0.60	0.0	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0
10	1.00	1.00	0.0	0.60	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0
11	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0
12	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
14	1.00	1.00	0.60	0.0	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
15	1.00	1.00	0.0	0.60	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0



Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
16	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0
17	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0
18	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0
19	1.00	1.00	0.60	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0
20	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0
21	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0
22	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0
23	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0
24	1.00	1.00	0.60	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0
25	1.00	1.00	0.0	0.60	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0
26	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0
27	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0
28	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00
29	1.00	1.00	0.60	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00
30	1.00	1.00	0.0	0.60	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00
31	1.00	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75
32	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	FREQUENTE 1
2	SLU	FREQUENTE 2
3	SLU	FREQUENTE 3
4	SLU	FREQUENTE 4
5	SLE	FREQUENTE 5
6	SLE	FREQUENTE 6
7	SLE	FREQUENTE 7
8	SLE	FREQUENTE 8
9	SLE	FREQUENTE 9

Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
1	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
2	1.00	1.00	0.50	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.00	1.00	0.0	0.50	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0
7	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0
8	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0
9	1.00	1.00	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLE	Q.P. 1
2	SLE	Q.P. 2
3	SLE	Q.P. 3

Cmb	PROPRIO	PERMANENTE	TEMP. 1	TEMP. 2	TEMP. 3	VEH. 1	VEH. 2	VEH. 3	VEH. 4	VEH. 5	VEH. 6
1	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.00	1.00	0.50	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.00	1.00	0.0	0.50	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## 11.2. SOLLECITAZIONI

Si riportano immagini che rappresentano le massime sollecitazioni agenti.

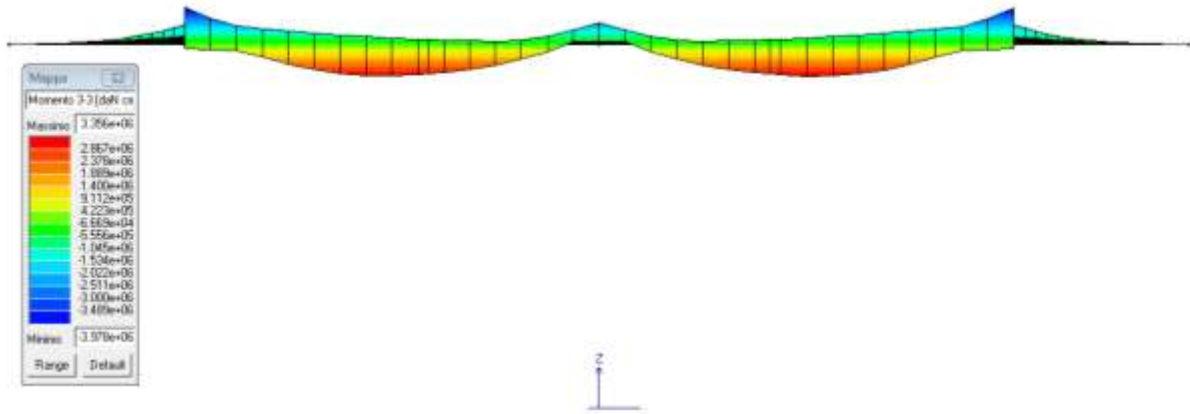


FIGURA 11-1 INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE SLU

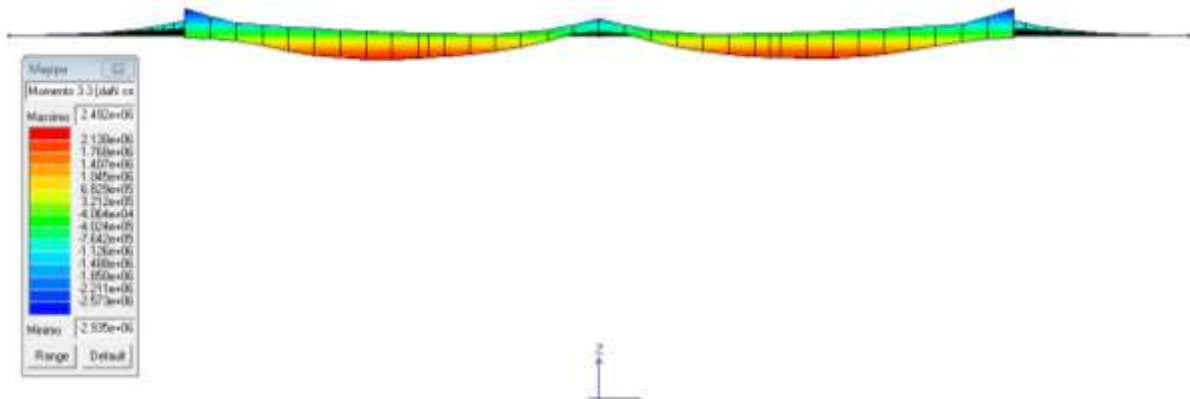


FIGURA 11-2 INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE SLE RARA

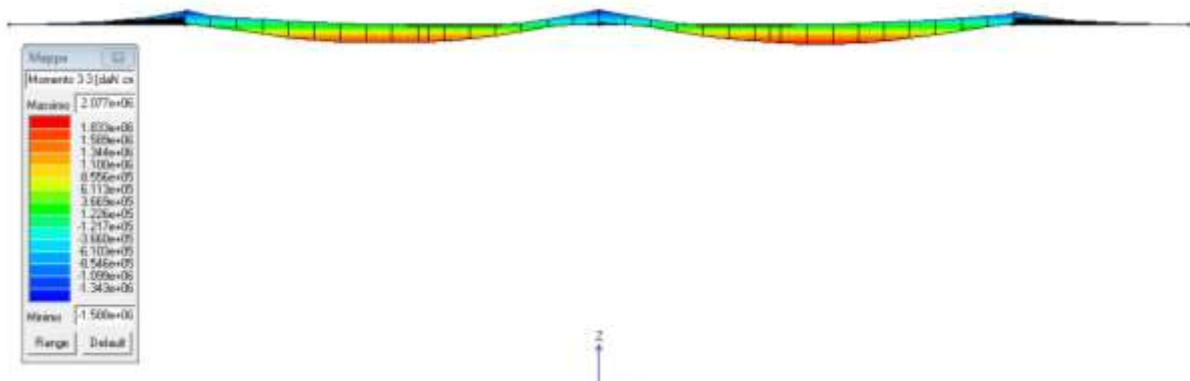
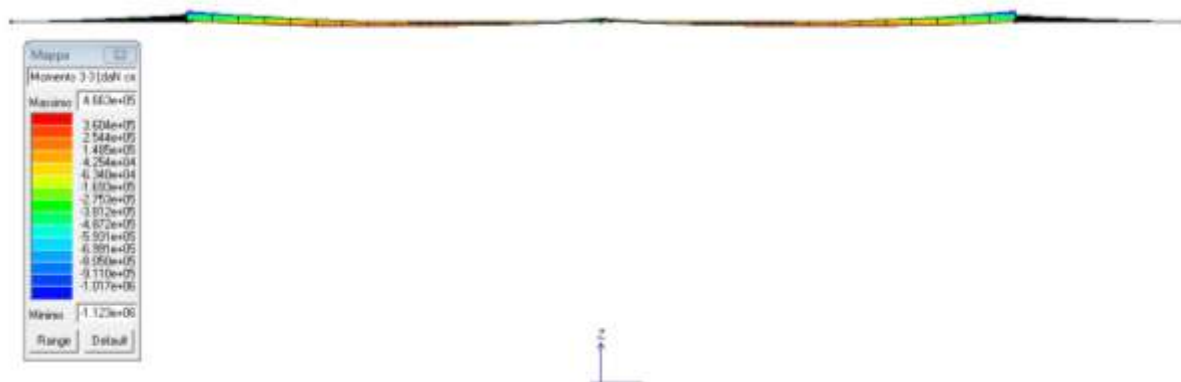


FIGURA 11-3 INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE SLE FREQUENTE



**FIGURA 11-4 INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE SLE QUASI PERMANENTE**

Riassumendo, con valori espressi in KNm, si ha:

<b>INVILUPPO SOLLECITAZIONI</b>	<b>M<sup>+</sup> campata</b>	<b>M<sup>-</sup> appoggio</b>
SLU	335.60	397.80
SLE RARE	249.20	293.50
SLE FREQUENTI	207.70	158.86
SLE QUASI PERMANENTI	46.63	112.30

A favore di sicurezza le verifiche verranno condotte col solo momento flettente agente.

### 11.3. VERIFICHE

Le verifiche sono condotte su una strisciata di trave di dimensioni pari al modello effettuato.

Data la presenza della predalle lo spessore della soletta si considera ridotto, pari a 26 cm.

La sezione da verificare ha quindi dimensioni 350\*26.

La verifica viene condotta tramite l'ausilio del programma PRO\_VLIM, modulo aggiuntivo del programma PRO\_SAP per la verifica delle sezioni.

Il copri ferro è assunto pari a 5 cm.

Si arma la sezione con  $\phi$  20/20 cm.

Si rammenta che in direzione longitudinale sono stati inseriti nel programma  $\phi$  16/20 cm.

La verifica è condotta in ottemperanza alle NTC 2008.

Geometria della sezione

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0.0	0.0
2	0.0	26.0
3	350.0	26.0
4	350.0	0.0



Armature

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	23.8	21.1	3.1	no
2	42.7	21.1	3.1	no
3	61.6	21.1	3.1	no
4	80.5	21.1	3.1	no
5	99.4	21.1	3.1	no
6	118.3	21.1	3.1	no
7	137.2	21.1	3.1	no
8	156.1	21.1	3.1	no
9	175.0	21.1	3.1	no
10	193.9	21.1	3.1	no
11	212.8	21.1	3.1	no
12	231.7	21.1	3.1	no
13	250.6	21.1	3.1	no
14	269.5	21.1	3.1	no

15	288.4	21.1	3.1	no
16	307.3	21.1	3.1	no
17	326.2	21.1	3.1	no
18	326.2	4.9	3.1	no
19	307.3	4.9	3.1	no
20	288.4	4.9	3.1	no
21	269.5	4.9	3.1	no
22	250.6	4.9	3.1	no
23	231.7	4.9	3.1	no
24	212.8	4.9	3.1	no
25	193.9	4.9	3.1	no
26	175.0	4.9	3.1	no
27	156.1	4.9	3.1	no
28	137.2	4.9	3.1	no
29	118.3	4.9	3.1	no
30	99.4	4.9	3.1	no
31	80.5	4.9	3.1	no
32	61.6	4.9	3.1	no
33	42.7	4.9	3.1	no
34	23.8	4.9	3.1	no

\*1 \*2 \*3 \*4 \*5 \*6 \*7 \*8 \*9 \*10 \*11 \*12 \*13 \*14 \*15 \*16 \*17  
\*34 \*33 \*32 \*31 \*30 \*29 \*28 \*27 \*26 \*25 \*24 \*23 \*22 \*21 \*20 \*19 \*18

Caratteristiche limite della sezione

Nu	Mxu	Myu	Stato Sez.
	kN	kN m	
-4179.68	0.0000	0.0000	Completamente tesa



21299.81	0.0000	0.0041	Completamente compressa
0.00	409.0026	0.0002	Fibre inferiori tese
0.00	-409.0026	-0.0002	Fibre superiori tese
0.00	0.0000	5788.7315	Fibre di sinistra tese
0.00	0.0000	-5788.7315	Fibre di destra tese

Verifiche stato limite ultimo

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

e in caso di verifica proporzionale positiva:

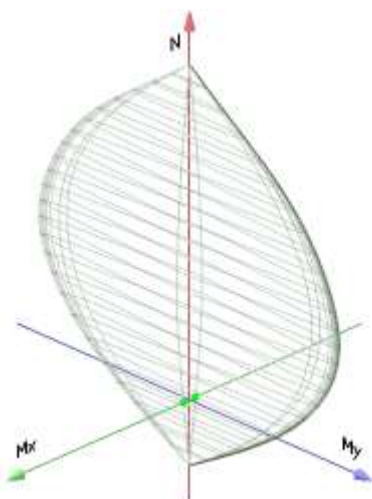
Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0.00	355.6000	0.0000	P	0.00	409.0026	0.0002	0.870	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0.00	409.0026	0.0002	0.870	
2	0.00	-397.8000	0.0000	P	0.00	-409.0026	-0.0002	0.970	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0.00	-409.0026	-0.0002	0.970	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
2	0.00	-397.8000	0.0000	P	0.00	-409.0026	-0.0002	0.970	OK
1	0.00	355.6000	0.0000	M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	OK
2	0.00	-397.8000	0.0000	N	0.00	-409.0026	-0.0002	0.970	OK



Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS:  $\sigma_L = 19.92 \text{ kN/mq}$  (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_L < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_a = 360.00 \text{ kN/mq}$  (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_a < 1$ )

	Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_L$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_a$
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
3 OK	249.2000	0.0000	0.00	0.00	-8.92	0.45	255.53	0.71
4 OK	-293.5000	0.0000	0.00	0.00	-10.51	0.53	300.95	0.84

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0.30 \text{ mm}$  (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

	Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato		kN m	kN m	kN	mm	
5 OK	207.7000	0.0000	0.00	0.00	0.17	0.57
6 OK	-158.8600	0.0000	0.00	0.00	0.10	0.33

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti

Valori limite:

CLS:  $\sigma_L = 14.94$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma/\sigma_L < 1$ )

Fessure:  $W_k = 0.20$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

	Cmb	Mx	My	N	$\sigma$	$\sigma/\sigma_L$	Wk/WkL	
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
7 OK		46.6300	0.0000	0.00	-1.67	0.11	0.00	0.00
8 OK		-112.3000	0.0000	0.00	-4.02	0.27	0.02	0.09

## 12. DIMENSIONAMENTO DELLE PREDALLES

La soletta di impalcato presenta una sezione trasversale caratterizzata da 2 campate centrali di lunghezza 365.00 cm e due sbalzi terminali di lunghezza 155.00 cm per una larghezza complessiva di 10.40 metri.

Le lastre predalle sono verificate per la fase di getto della soletta.

Date le dimensioni dello sbalzo non si prevedono sue fasi di getto.

Per le lastre predalle si prevedono moduli da 240 cm, armati con 6 tralicci, ognuno di essi costituito da due ferri longitudinali inferiori  $\phi_i = 14\text{mm}$  ed uno superiore  $\phi_s = 16\text{mm}$  e da una doppia staffatura continua  $d_s = 10\text{mm}/200$  (vedi schema di seguito riportato).

Per il traliccio si prevede un'altezza complessiva di 240mm. In corrispondenza degli appoggi costituiti dalle piattabande superiori del cassone metallico (dove il momento negativo è alto), si prevede una modifica del traliccio con la saldatura alle staffe di  $2\phi_{18}$  inferiori al posto dei  $2\phi_{14}$ , il tutto come rappresentato nello schema di seguito riportato.

Le caratteristiche geometriche assunte per il traliccio sono le seguenti:

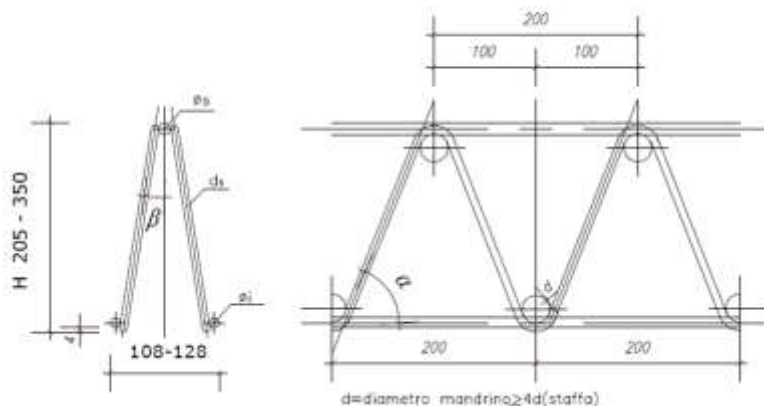
$h = \text{interasse } \phi_s - \phi_i = 221 \text{ mm};$

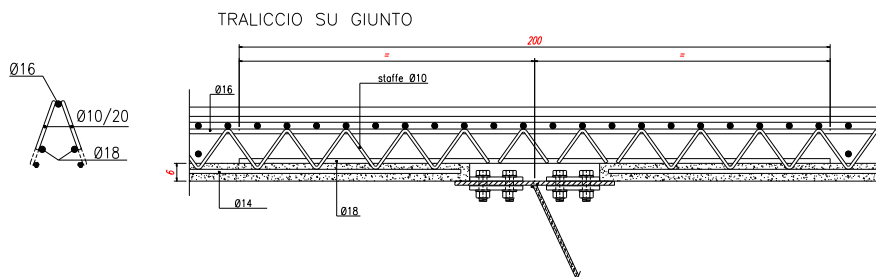
$h' = \text{interasse } \phi_s - \phi_i \text{ nella zona di giunto} = 182 \text{ mm};$

$\alpha = 66^\circ;$

$\beta = 6^\circ.$

### VISTA TRALICCIO





I carichi in gioco sono di seguito riassunti:

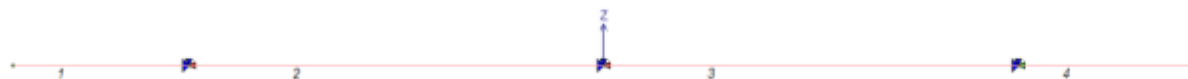
$$p_L = \text{peso lastra } (\gamma=25 \text{ KN/mc}) = 3.60 \text{ KN/m}$$

$$p_g = \text{peso getto } (\gamma=26 \text{ KN/mc}) = 18.10 \text{ KN/m}$$

$$p_v = \text{sovraccarico di costruzione } (1.50 \text{ KN/mq}) = 3.60 \text{ KN/m}$$

$$F = \text{Peso veletta e sopralzo del cordolino terminale} = 8.00 \text{ KN.}$$

L'immagine seguente mostra lo schema di carico utilizzato e i carichi assegnati al modello.



**FIGURA 12-1 SCHEMA DI CARICO: TRAVE SU PIÙ APPOGGI**



**FIGURA 12-2 PESO DELLA LASTRA**



FIGURA 12-3 PESO DEL GETTO

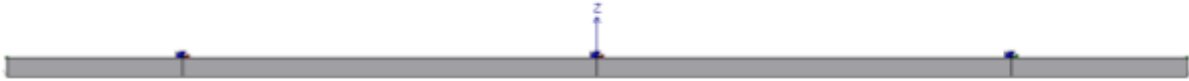


FIGURA 12-4 SOVRACCARICO



FIGURA 12-5 PESO VELETTA

Le immagini seguenti mostrano invece i momenti massimi generati dal singolo casi di carico.

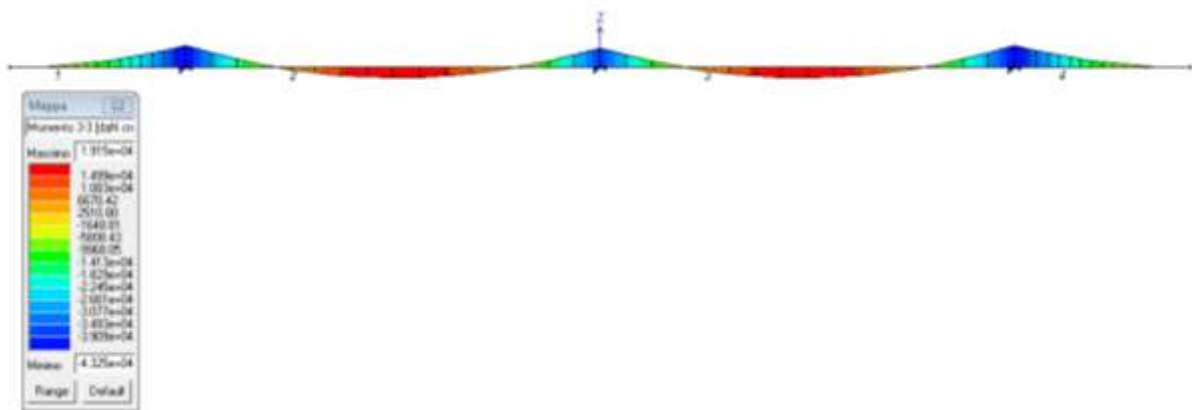


FIGURA 12-6 PESO DELLA LASTRA: DIAGRAMMA MOMENTO

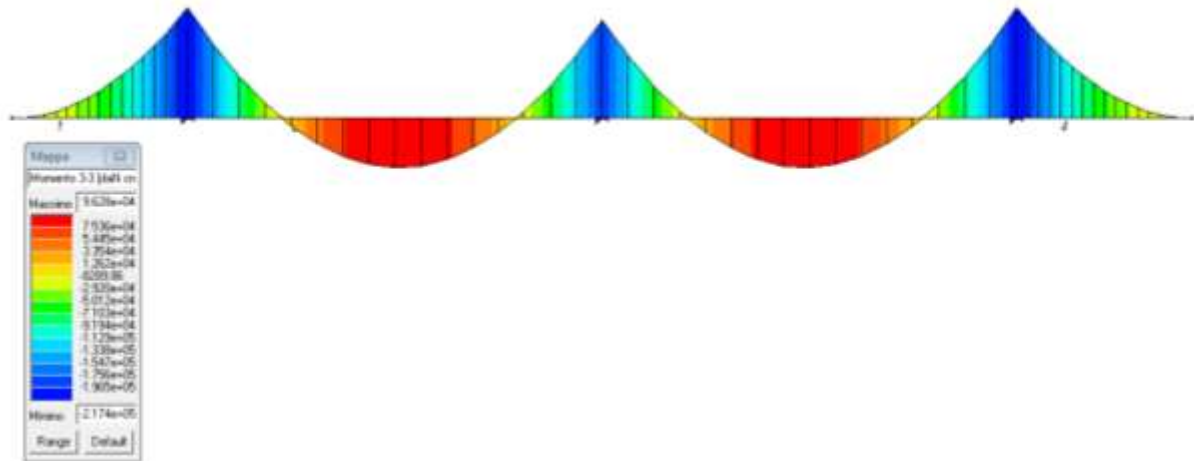


FIGURA 12-7 PESO GETTO: DIAGRAMMA MOMENTO

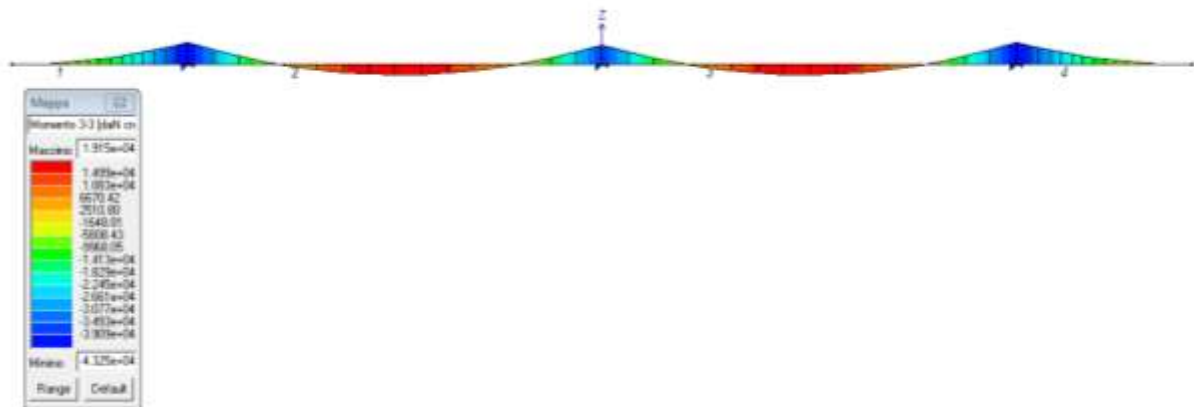
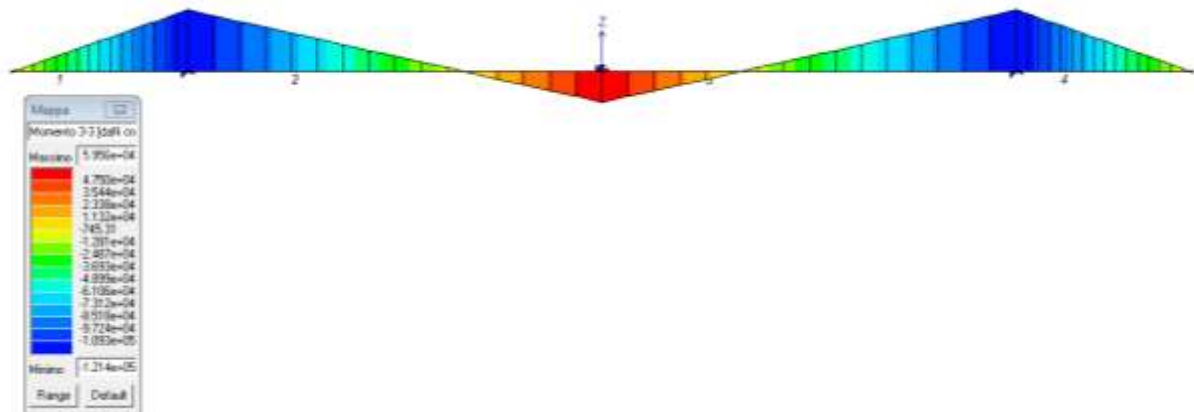


FIGURA 12-8 SOVRACCARICO: DIAGRAMMA MOMENTO



**FIGURA 12-9 PESO VELETTA: DIAGRAMMA MOMENTO**

Combinando i momenti ottenuti otteniamo i seguenti momenti agli SLU sulle predalles.

**Fase 1**

$$M^+ = 1.35*(1.92+9.64) + 1.50*1.92 = 18.48 \text{ KNm}$$

$$M^- = 1.35*(4.33+21.74) + 1.50*4.33 = 41.68 \text{ KNm}$$

**Fase 2**

$$M^+ = 1.35*(1.92+9.64+6.20) + 1.50*1.92 = 26.86 \text{ KNm}$$

$$M^- = 1.35*(4.33+21.74+12.40) + 1.50*4.33 = 58.42 \text{ KNm}$$

Si verifica direttamente la fase 2.

Per quanto concerne il momento positivo su ogni traliccio agisce una forza di:

$$F = M/(h*6) = 24.59 \text{ KN}$$

I ferri superiori del traliccio (1 $\phi$ 16) di acciaio B450C possono resistere ad una forza di circa 78.67 KN.

La verifica pertanto risulta soddisfatta.

Per quanto concerne il momento negativo su ogni traliccio agisce una forza di:

$$F = M/(h*6) = 53.50 \text{ KN}$$

I ferri inferiori del traliccio (2 $\phi$ 14) di acciaio B450C possono resistere ad una forza di circa 120.47 KN.

La verifica pertanto risulta soddisfatta.



## 13. DIMENSIONAMENTO DELLA TRAVE ROMPITRATTA

La trave rompi tratto è soggetta al carico trasmesso dalla soletta soprastante. La trave può essere schematizzata come trave ad una campata incastrata su un lato e appoggiata sull'altro.

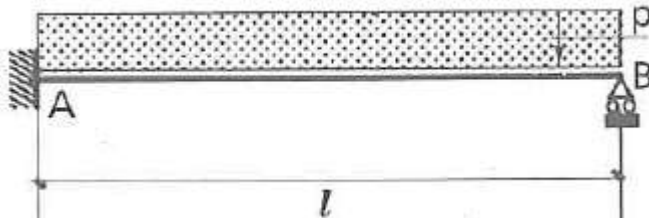
La luce della trave è pari a 3.50 metri, ossia la distanza fra gli irrigidimenti trasversali.

Il carico agente sulla trave si ottiene dalla modellazione effettuata per soletta e controventi.

Da suddetta modellazione si evince che il carico massimo agli SLU agente sull'appoggio della soletta sulla trave rompi tratto è pari a circa 1200.00 KN.

Il carico distribuito da applicare alla trave risulta quindi pari a circa 345.00 KN/ml.

Lo schema di carico utilizzato è mostrato nella figura sottostante.



Dal calcolo della trave si ottengono le seguenti sollecitazioni:

$$M = pl^2/14.2 = 297.65 \text{ KNm}$$

$$V = 5/8pl = 754.68 \text{ KN}$$

La trave in questione presenta le seguenti caratteristiche:

Modulo di resistenza a flessione  $W = 3597120 \text{ mmc}$

Area resistente a taglio  $Asz = 7488 \text{ mmq}$

Per quanto concerne il momento resistente si ottiene una tensione di 82.75 Mpa.

La tensione limite riferita all'acciaio utilizzato (S355) è pari a 338 MPa.

La verifica risulta quindi soddisfatta.

Per quanto riguarda il taglio, in assenza di torsione, attorno all'asse forte (taglio z-z) la resistenza a taglio vale:

$$V_{c,RD} = (h_w * t_w * f_{yk}) / (\sqrt{3} * \alpha_{M0}) = (7488 * 24 * 355) / (\sqrt{3} * 1.05) = 35079.67 \text{ KN} > 754.68$$

La verifica risulta quindi soddisfatta.