

# **REGIONE TOSCANA**



**UFFICIO DEL GENIO CIVILE**  
**Provincia di Massa Carrara**

## **COMUNE DI MASSA**

***LAVORI DI “RIALZAMENTO DEL PONTE SUL FIUME  
FRIGIDO SUL LUNGOMARE VESPUCCI DI MARINA  
DI MASSA”***

***Sito in: Marina di Massa Viale Vespucci***

***Ente Attuatore: Regione Toscana***

***Proprietà: Comune di Massa***

***Progettista:***

***Ing. Paolo Edoardo Giusti***

***Collaboratore:***

***Ing. Michele Baldiati***

***DOCUMENTO:***

***Relazione Tecnica Generale.***

***Relazione Tecnica di Verifica dell'Impalcato  
condotto ai sensi dell'NTC 2008.***

***Data: Gennaio 2017***

***----- 000 -----***

## **RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELL'OPERA:**

Nell'ambito della messa in sicurezza idraulica del fiume Frigido la Regione Toscana ha predisposto i fondi per il Rialzamento del ponte su viale Amerigo Vespucci, lungomare di Marina di Massa. Detto intervento si propone di rialzare il Ponte esistente di 120 cm rispetto alla posizione attuale in modo da consentire il deflusso della portata di piena, calcolata con tempo di ritorno pari a 200 anni (stimata secondo lo studio Porf,Settesoldi in 638 mc/sec), mantenendo un franco all'intradosso del ponte pari a circa 40 cm. Da un punto di vista idraulico l'intervento presenta un notevole miglioramento rispetto alla situazione attuale. Da un punto di vista Strutturale e Sismico l'intervento si configura come intervento di Adeguamento alla normativa vigente NTC 2008.

La presente relazione illustra la verifica di rispondenza della struttura esistente dell'impalcato del ponte sul fiume Frigido su Viale Vespucci in Marina di Massa nello stato attuale alla normativa vigente, D.M. del 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Per quanto riguarda la verifica delle spalle di fondazione si rimanda alla relazione ad essa dedicata.

## **UBICAZIONE DELL'OPERA:**

Il Ponte in oggetto è situato sul Viale Vespucci in località Marina di Massa (MS) ed è situato in prossimità della foce del fiume Frigido (Coord: 44.004225N, 10.104764E) ad una altezza sul livello del mare pari a circa 4 m, in pianura, la zona è classificata sismica con grado 3s.

## **Descrizione generale dell'opera.**

Trattasi di un ponte ad Arco a via inferiore chiuso del tipo a Travata Langher realizzato con struttura portante in profili composti in acciaio CorTen con soletta di impalcato in c.a. gettato in opera sulle piattabande piolate delle travi di impalcato. Per cui da un punto di vista strutturale il sistema Arco.Trave irrigidente è a struttura metallica semplice mentre il trasverso ha un funzionamento a sezione mista Acciaio Calcestruzzo. Il progetto originale è stato depositato al Genio Civile di Massa Carrara il 5 Febbraio 1997 Prat.Sis.n. 18, il dimensionamento fu condotto secondo la norma allora vigente il DM.09/01/1996 ed il DM 16/01/1996.

L'impalcato è costituito longitudinalmente da due travi scatolari irrigidenti esterne, realizzate con sezioni cave composte da lamiera per saldatura, sulle quali si impostano i due archi, e quattro travi interne, dette longoni, a doppio T saldato composto e piolato sulla piattabanda superiore. Trasversalmente l'impalcato è costituito da travi a doppio T saldate composte ad altezza variabile detti Trasversi anch'essi piolati sulla piattabanda superiore. La soletta di impalcato è gettata su una lamiera cassero sempre in CorTen dello spessore di 5 mm. Gli archi, di forma parabolica, sono realizzati in profili scatolari a sezione variabile collegati alla trave irrigidente tramite pendini in acciaio Inox di 54mm di diametro.

Sia i Trasversi che i Longoni grazie alla piolatura, che garantisce la connessione solida alla soletta in c.a. gettata in opera, nella fase finale diventano sezioni miste Acc.-C.A pienamente collaboranti.

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO.**

Di seguito riportiamo le norme, le circolari ministeriali esplicative a cui è stato fatto riferimento per la verifica dell'opera:

- D.M. del 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni".
- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009, N.617 C.S.LL.PP. recante "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M.del 14 Gennaio 2008"



## **MATERIALI STRUTTURALI.**

Dai documenti reperiti si ricava che per la realizzazione dell'opera in oggetto sono stati utilizzati i seguenti materiali.:

### **Calcestruzzo strutturale:**

Calcestruzzo Rck 400 per la soletta di impalcato

Calcestruzzo Rck 300 per le spalle di fondazione delle quali ci si occupa in relazione dedicata.

Id	Tipo / Note		Young	Poisson	G	Gamma	Alfa
		daN/cm2	daN/cm2		daN/cm2	daN/cm3	
1	Calcestruzzo Classe C25/30		3.145e+05	0.12	1.404e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	300.0					
	fctm	25.6					
1	Calcestruzzo Classe C32/40		3.360e+05	0.2	1.404e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	400.0					
	fctm	30.2					

### **Acciaio ad aderenza migliorata tipo FeB44K equivalente al B450C.**

Tensione di snervamento

$f_{yk}=4500 \text{ Kg/cm}^2$

Tensione di rottura

$f_{yk}=5400 \text{ Kg/cm}^2$

Allung. A rottura

$A_{gtk} > 7.50\%$

### **Acciaio da carpenteria tipo Corten B astm a242**

TIPO DI PRODOTTO		PROVA DI TRAZIONE					PROVA DI PIEGA		
		SNERVAMENTO RS KG/MMQ	RESISTENZA A TRAZIONE RM KG/MMQ	ALLUNGAMENTO MINIMO %(*)			SPESSORE MM	□	D
				A	A 8"	A 2"			
LAMIERE BARRE PROFILATI	$\geq 12,5 \square 38 \text{ mm}$	$\geq 35$	$\geq 49$	20	19	21	$\leq 19$	180°	a
							$> 19 \square 25$	180°	1,5a
							$> 25 \square 38$	180°	2a
LAMIERE	$> 38 \square 100 \text{ mm}$	$\geq 35$	$\geq 49$	20	19	21	$> 19 \square 25$	180°	2,5a

Per il dettaglio delle caratteristiche dei materiali vedere relazione dedicata nella quale viene raccolto ed analizzato tutto il materiale ed i documenti reperiti riguardanti il progetto originale unitamente ai certificati sulle prove sui materiali ed ai certificati di origine degli stessi.

## SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA E DEI VINCOLI:

Nella schematizzazione della struttura resistente sono stati considerati solo gli elementi puramente strutturali.

## MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA:

La struttura è modellata nella sua reale geometria spaziale usando l'elemento finito Trave. Nell'ipotesi fondamentale di linearità geometrica della stessa ed elasticità lineare dei materiali. Ipotesi sufficientemente coerenti con il reale comportamento delle strutture di questo tipo. Al fine di una corretta analisi del modello, sono stati realizzati due distinti modelli per andare ad indagare le condizioni più critiche di ogni elemento strutturale. Un primo modello  $n=\infty$  (cioè composto dalla sola struttura metallica varata) che rappresenta la fase iniziale con il ponte in opera sul quale viene gettata la soletta di calcestruzzo dello spessore di 25cm. Un secondo modello  $n=6$ , che considera le travature già come composte dalla sezione metallica più la soletta collaborante ridotta dal fattore  $n=6$  per i carichi di breve durata.

## AZIONI PREVISTE SULLA STRUTTURA.

### **Modello $n=\infty$**

Carichi permanenti:

Peso strutturale complessivo  $G_{str}= 230000 \text{ daN}$

Accidentali da getto

Getto cls  $G_2= 422156 \text{ daN}$

### **Modello $n=6$**

Carichi permanenti:

Binder - Usura  $G_2= 87809 \text{ daN}$

Carichi accidentali da traffico:

Corsia 1 carico tandem  $P_{1k}=375 \text{ KN/m}$  equivalente a  $Q_{1k}$

Corsia 1 carico distribuito  $p_{1k}=27 \text{ KN/m}$  equivalente a  $q_{1k}$

Corsia 2 carico tandem  $P_{2k}=250 \text{ KN/m}$  equivalente a  $Q_{2k}$

Corsia 2 carico distribuito  $p_{2k}=7.5 \text{ KN/m}$  equivalente a  $q_{2k}$

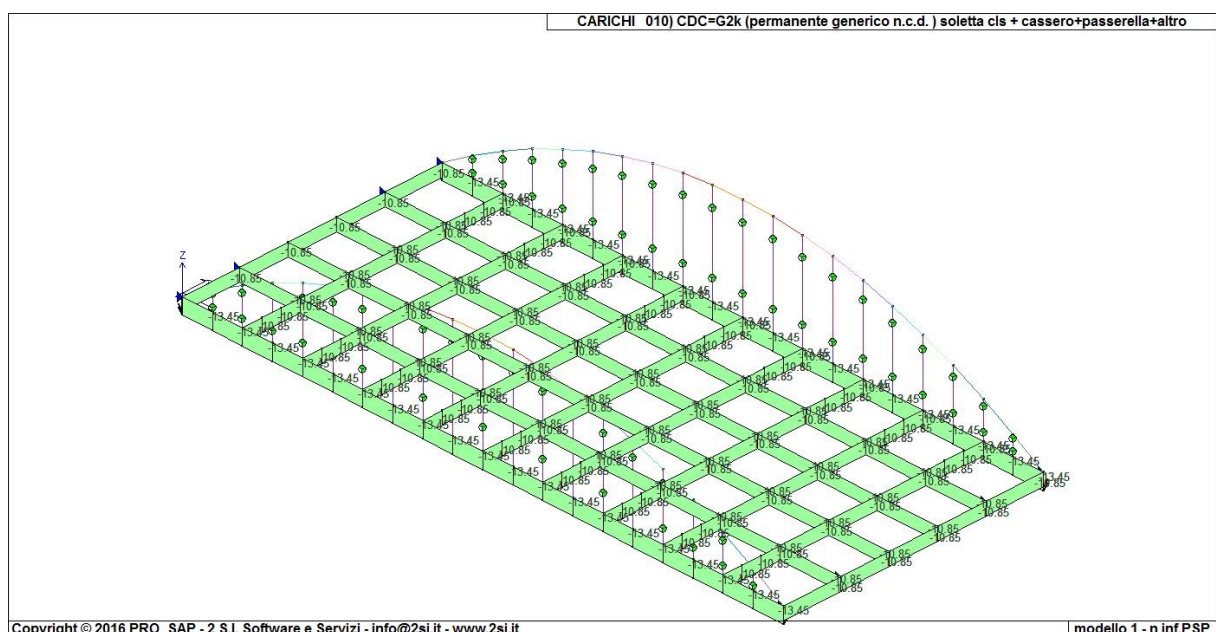
Corsia 3 carico tandem	$P_{3k}=125 \text{ KN/m}$	equivalente a $Q_{3k}$
Corsia 3 carico distribuito	$p_{3k}=7.5 \text{ KN/m}$	equivalente a $q_{3k}$
Altre corsie carico distribuito	$p_k=7.5 \text{ KN/m}$	equivalente a $q_{3k}$
Folla sui pedonali	$p_{fk}=4.5 \text{ KN/m}$	equivalente a $q_{fk}$ Valore di combinaz. $2.5 \text{ KN/mq}$
Traffico per verifica locale soletta	$p_{ak}=7.8 \text{ da/cm}^2$	equivalente a $Q_{ak}$
Binder - Usura per verifica locale soletta	$G_2=0.013 \text{ daN/cm}^2$	

#### CASI DI CARICO DEFINITI NEL CALCOLO:

Nei fascicoli dei calcoli allegati sono riportati nel dettaglio i casi di carico base considerati dall'analisi.

#### **Combinazione in fase di getto della soletta.**

Sul Primo Modello  $n=\infty$  è stato applicato il carico distribuito dovuto alla fase di getto della soletta in c.a.



***Combinazioni dei carichi applicate sul modello n=6 (soletta collaborante maturata).***

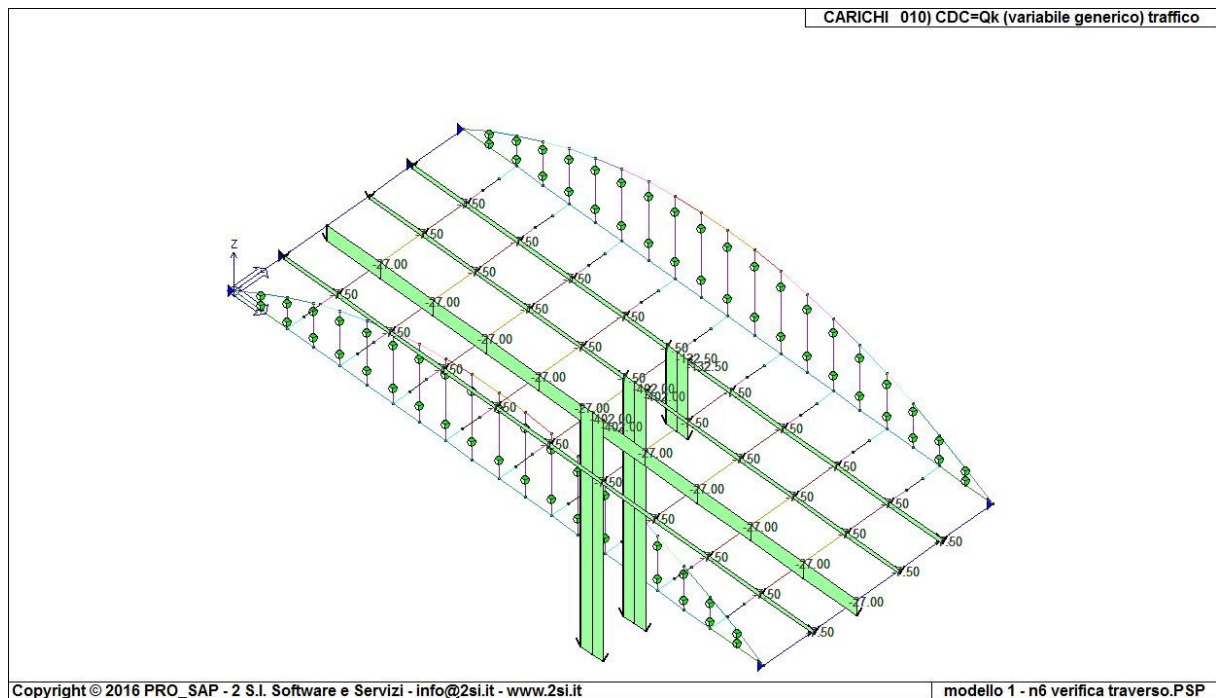
Sul secondo modello n=6 sono stati applicati rispettivamente:

Carichi dovuti alle finiture di impalcato.

Carchi da traffico nelle seguenti combinazioni:

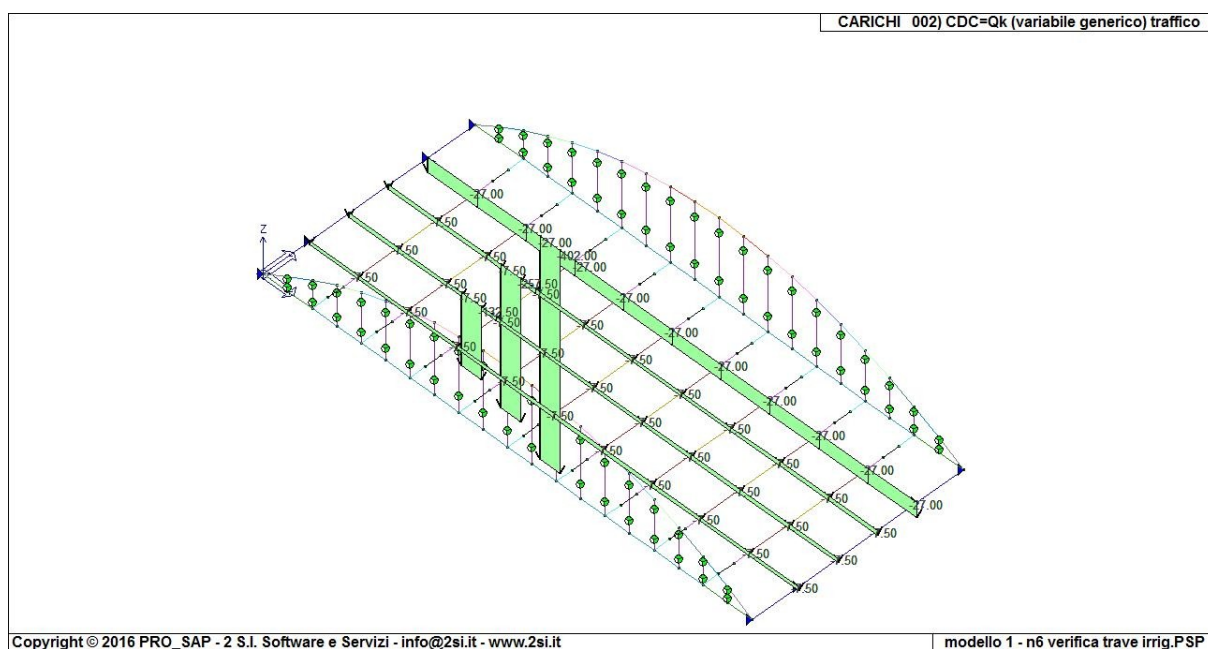
***Combinazione per la verifica del Trasverso:***

Schema di carico da traffico stradale per massimizzare l'impegno dei Trasversi: Carichi Tandem posizionati in mezzeria trasverso e mezzeria del ponte.



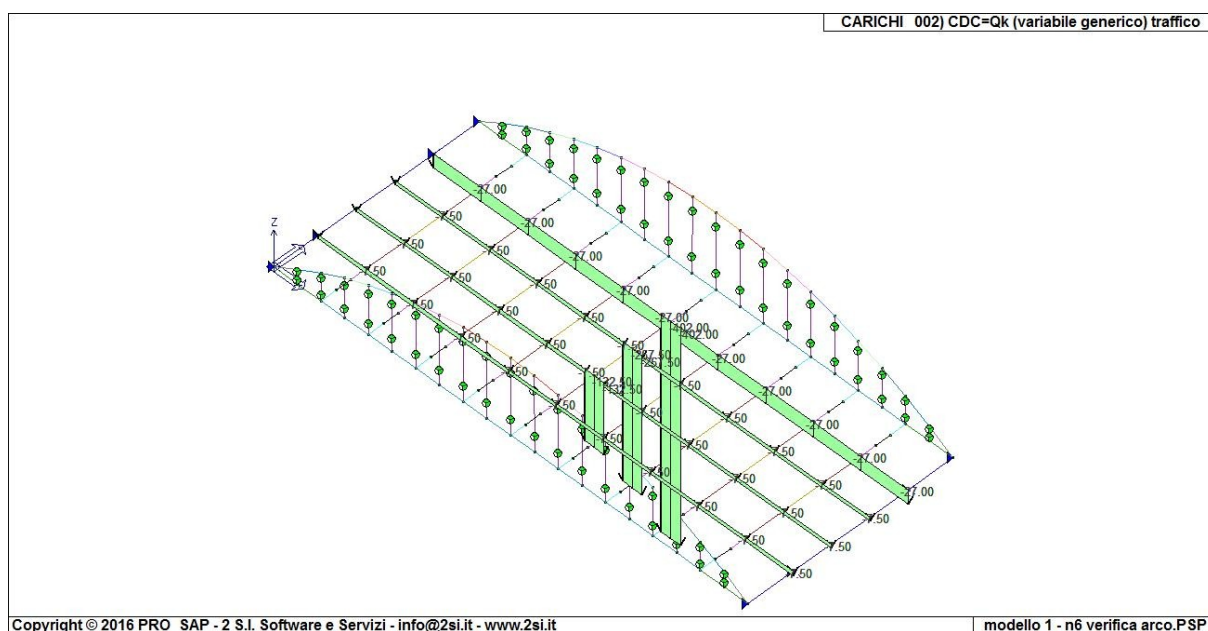
***Combinazione per la verifica delle Travi Irrigidenti:***

Schema di carico da traffico stradale per massimizzare l'impegno delle Travi Irrigidenti: Carichi Tandem posizionati in prossimità di un lato e ad 1/4 della luce del Ponte.



**Combinazione per la verifica degli Archi portanti:**

Schema di carico da traffico stradale per massimizzare l'impegno degli Archi Portanti:  
Carichi Tandem posizionati in prossimità di un lato e ad 1/2 della luce del Ponte.



### **MODELLAZIONE DEI MATERIALI:**

Sono stati modellati nel calcolo i materiali precedentemente citati i quali verranno schematizzati, per l'analisi globale, con legami costitutivi perfettamente elastici lineari secondo i parametri riportati in precedenza.

### **TIPO DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO:**

Il tipo di analisi adottato è l'analisi Statica e/o Dinamica, elastica, lineare sia in campo fisico che geometrico condotta con il metodo degli elementi finiti.

Per tale analisi è stato usato il codice di calcolo PRO\_SAP prodotto dalla 2si Software e Servizi per l'Ingegneria Piazza Schiatti 8 Ferrara.

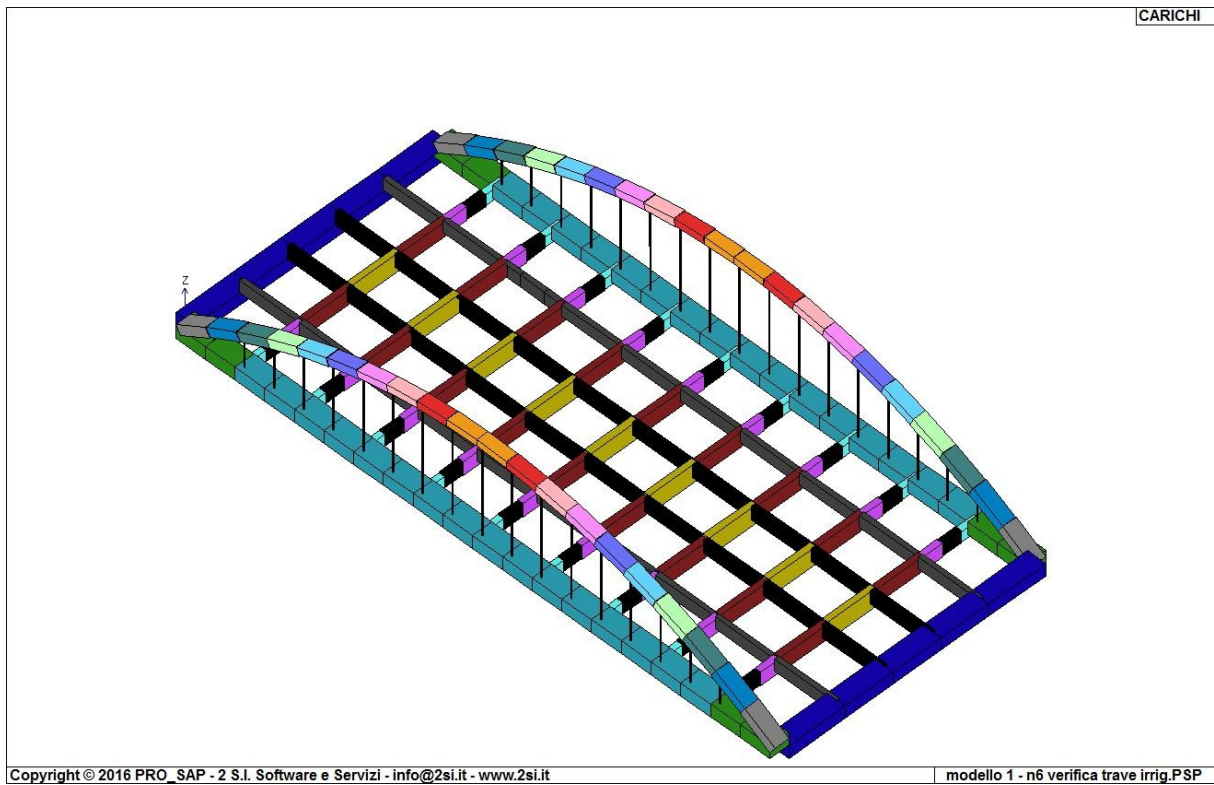
I tabulati prodotti da tale codice di calcolo comprendono come dati di ingresso : Intestazione e caratteristiche della struttura, gruppi della struttura, nodi del sistema e relativi gradi di libertà, materiali e sezioni utilizzate, carichi in luce alle travi, definizione di ogni singola asta (nodo iniziale, nodo finale, nodo di orientamento, svincoli eventuali alle estremità, materiale, tipo di sezione e carichi), combinazioni di carico e carichi ai nodi.

I dati di uscita principali sono invece: Spostamenti e rotazioni dei nodi liberi per ogni combinazione di carico, forze e momenti applicati alle estremità di ogni asta per ogni combinazione di carico, infine le reazioni vincolari sull'elemento finito vincolo sempre per ogni combinazione di carico.

### **COMBINAZIONI DI CARICO**

Sulla base dei casi di carico definiti, per la verifica della struttura sono state considerate le combinazioni di carico seguendo l'approccio 1 di cui ai paragr. 2.6.1, 2.6.2 e 5.1.3.12 della Normativa. Il dettaglio delle combinazioni analizzate per gli Stati Limite Ultimi e di Esercizio sono riportate nei fascicoli dei calcoli allegati.

Si riporta di seguito una vista del modello del ponte ad ogni diverso colore nell'immagine corrisponde una diversa sezione trasversale messa a conto nel modello.



*Vista Modello*

## **VERIFICHE DEL TRASVERSO**

Essendo il Trasverso costituito da una trave composta, per la sua verifica sono stati esaminati due modelli differenti per poi comporne i risultati.

Il primo modello  $n=\infty$  rappresenta la sola struttura metallica del ponte messo in opera e caricato dalla fase di getto del calcestruzzo.

Il secondo modello  $n=6$  rappresenta il ponte in opera a fine maturazione della soletta in c.a. collaborante per cui le sezioni dei Trasversi e dei Longoni sono complete ed omogenizzate con coefficiente  $n=6$ . Questo modello è caricato con sovraccarichi come: Finiture di impalcato, Binder ecc. Carichi variabili da traffico applicati sulle corsie in modo da massimizzare il Momento flettente in mezzzeria del trasverso come più chiaramente evidenziato nelle immagini su riportate.

Dal primo modello ricaviamo la tensione di lavoro al lembo inferiore e superiore della trave metallica in fase di getto, dal secondo modello ricaviamo le stesse tensioni dovute però ai soli sovraccarichi intervenuti successivamente alla maturazione del calcestruzzo, affetti dai loro coeff. Gamma di sicurezza, le due tensioni vengono quindi sommate per la verifica finale della membratura, dal secondo modello si ricava inoltre la tensione massima di lavoro del calcestruzzo nonché lo sforzo di sconnessione per la verifica dei connettori. In queste verifiche si è scelto di procedere in sola fase elastica essendo le sezioni composte per saldatura da piatti separati e classificabili come tipo 3 (teniamo in conto del fatto che la struttura è stata originalmente dimensionata secondo il metodo delle tensioni ammissibili DM/1996).

## **VERIFICHE AGLI SLU e SLE DELLE MEMBRATURE:**

Sulla base dei risultati dell'Analisi Globale del Modello, secondo le combinazioni dei casi di carico considerati, vengono condotte le verifiche delle membrature agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio (verifiche degli spostamenti) previsti dalla Norma.

In tutte le Combinazioni le Prestazioni minime richieste dalla Normativa sono state soddisfatte.

Di seguito riportiamo alcune immagini prodotte dal postprocessore grafico che illustrano chiaramente gli stati tensionali e deformativi della struttura nelle combinazioni di carico più significative.



## Modello $n=\infty$ Fase di getto

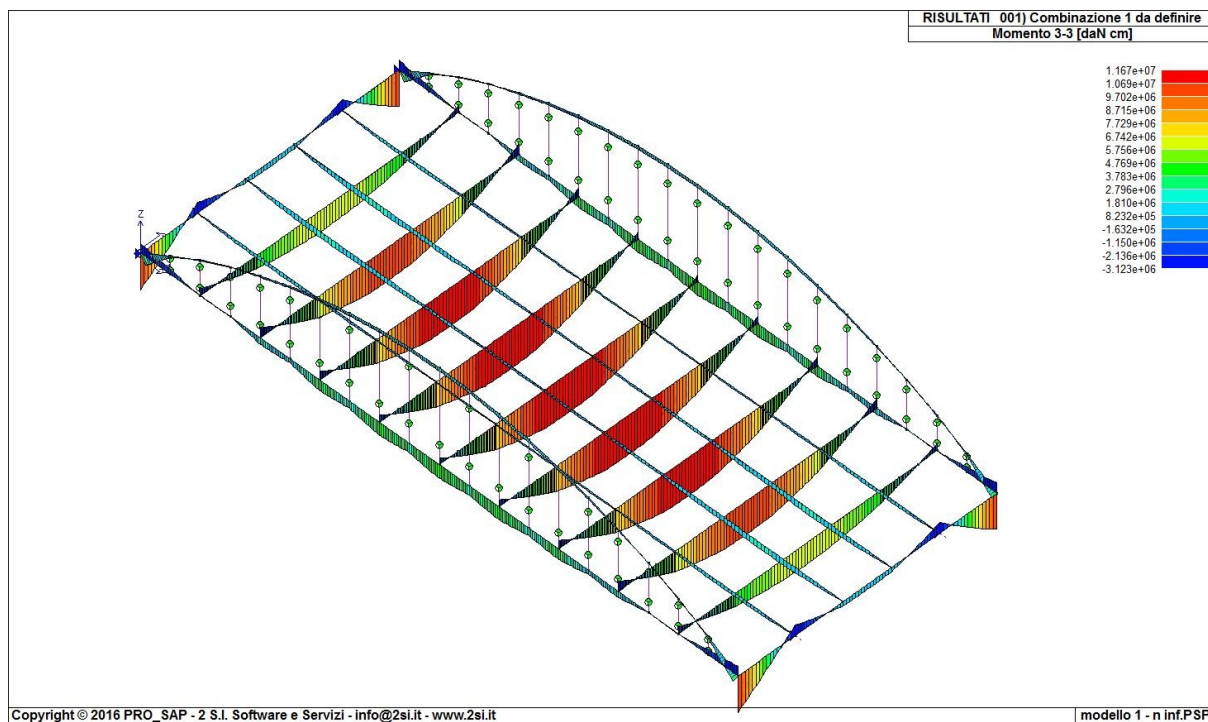


Diagramma Momento flettente  $M_{33}$  Comb: Perm\*1.35 + Getto\*1.35.  $M_{33}.max=116.7 \text{ t*m}$

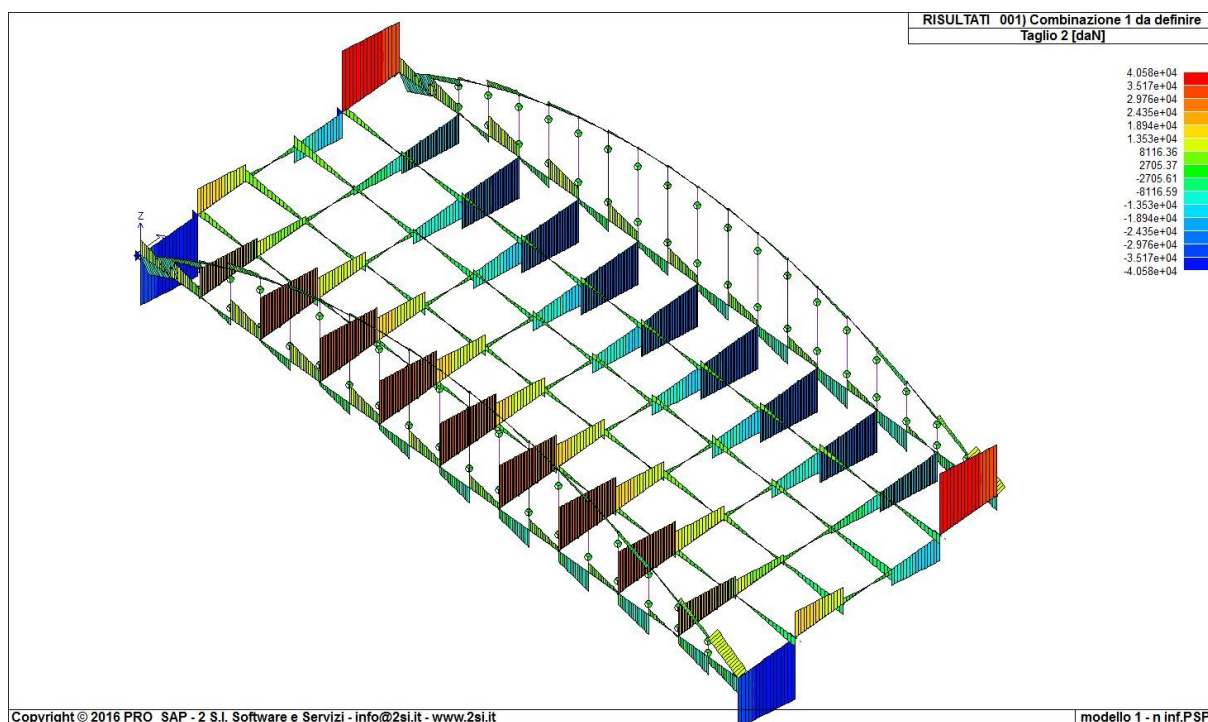


Diagramma Taglio  $V_2$ . Travi Comb: Perm\*1.35+ Getto\*1.35.  $V_{22}.max=28.5 \text{ t}$

## Modello =6 Comb. Per la verifica Trasverso

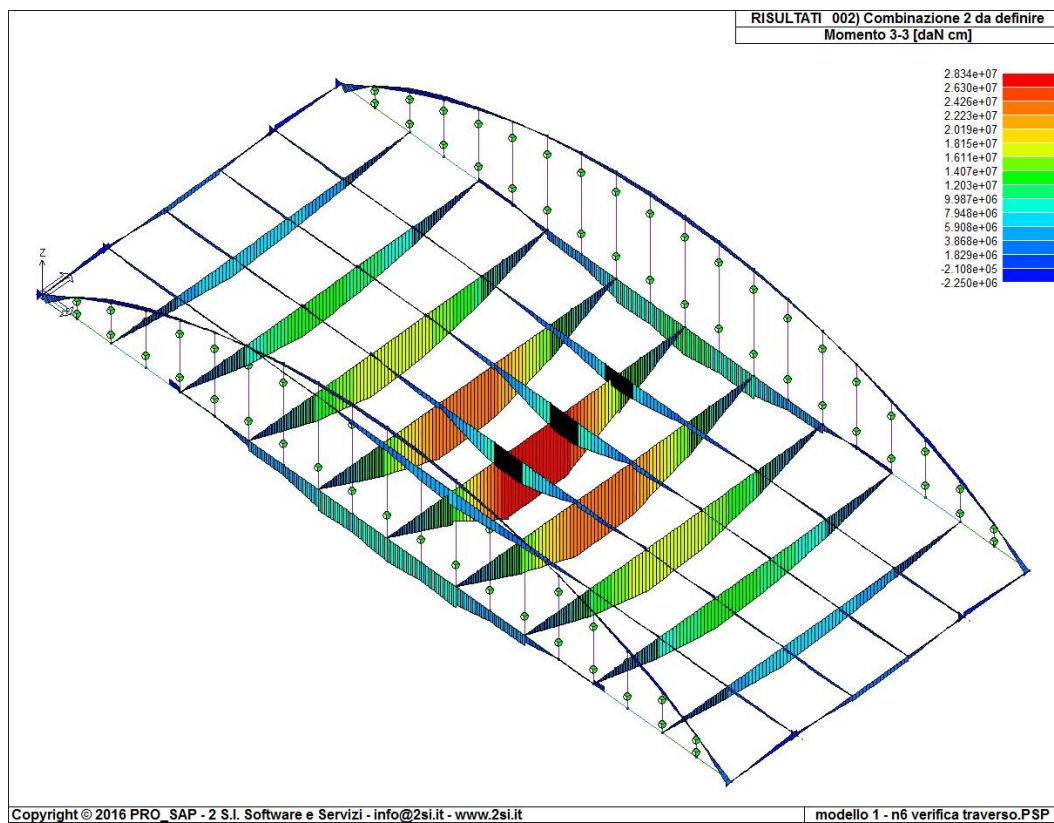


Diagramma Momento flettente M33. Comb:  $Traffico * 1.35 + Finiture * 1.50$   $M33.max = 2.834e+07$

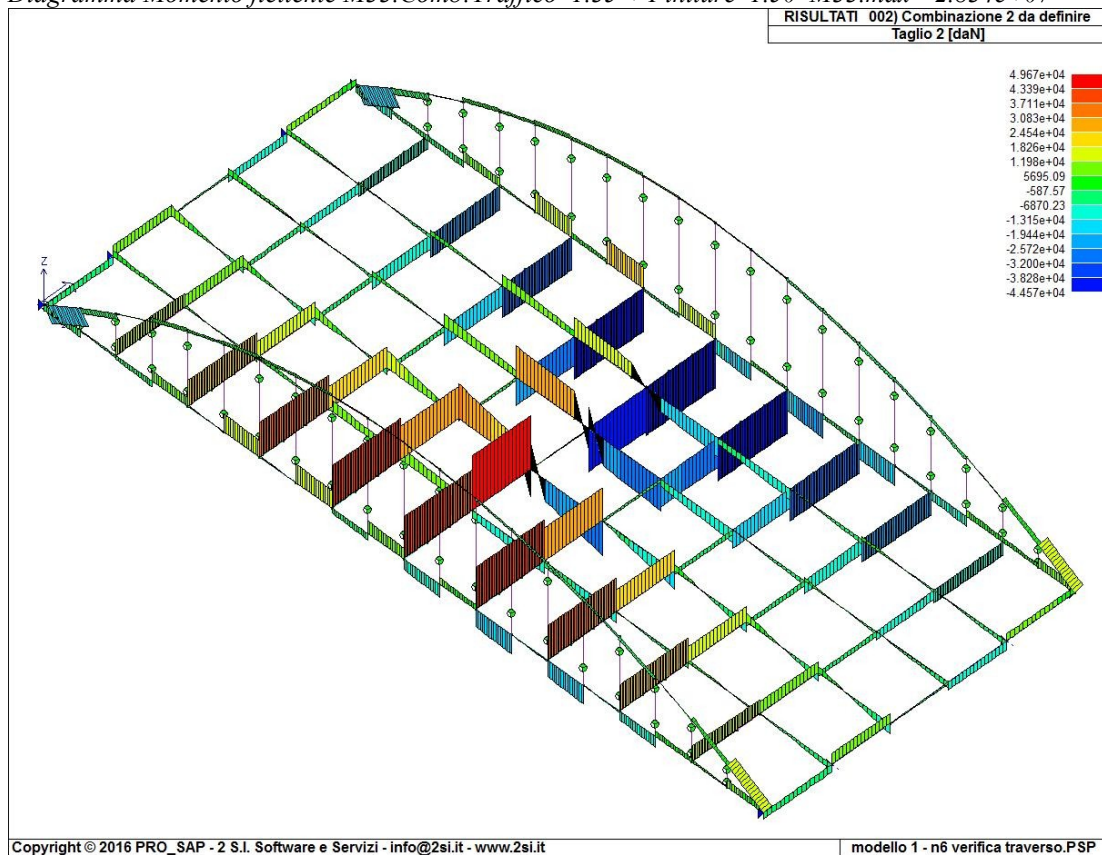


Diagramma Taglio V2. Comb :  $Traffico * 1.35 + Finiture * 1.50$   $V22.max = 4.967e+04$

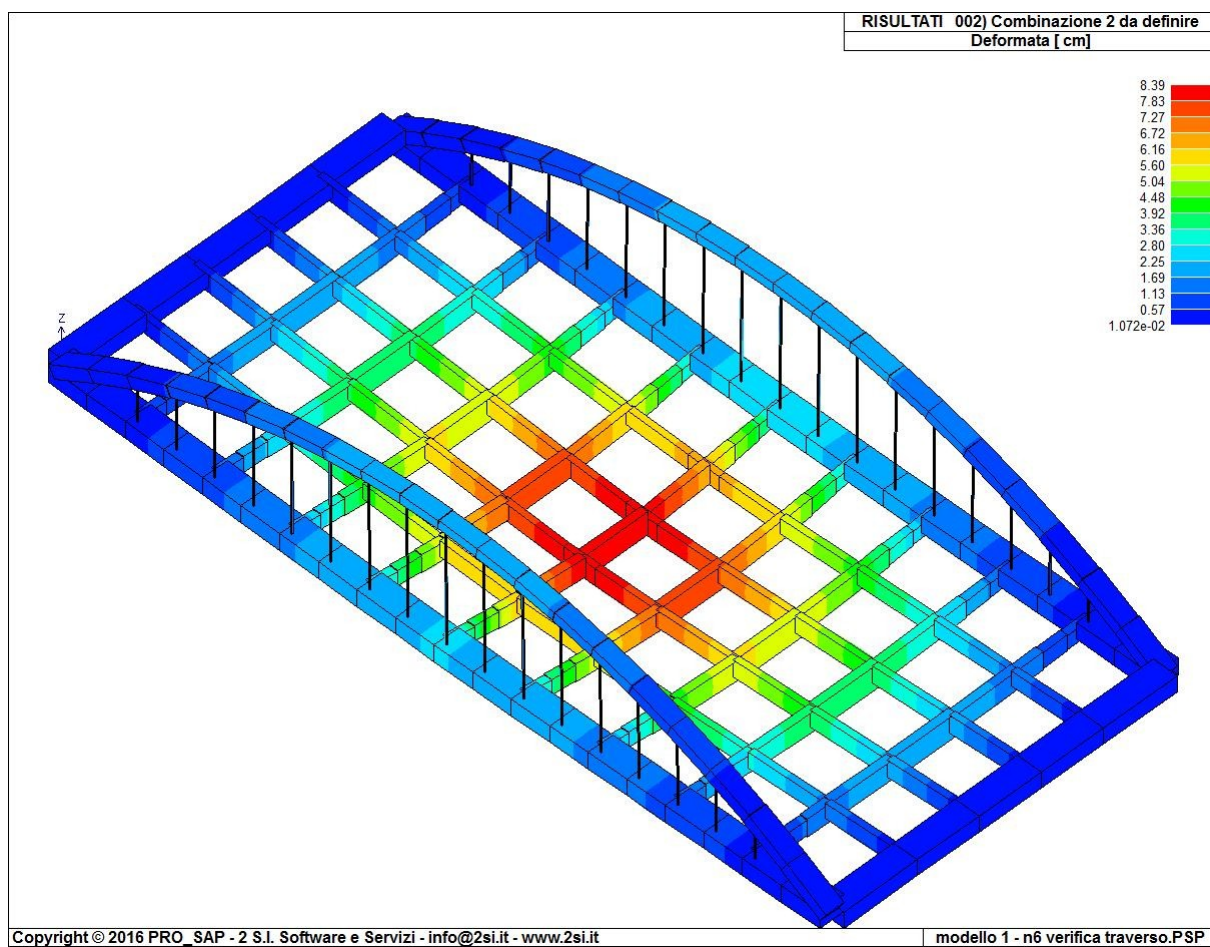
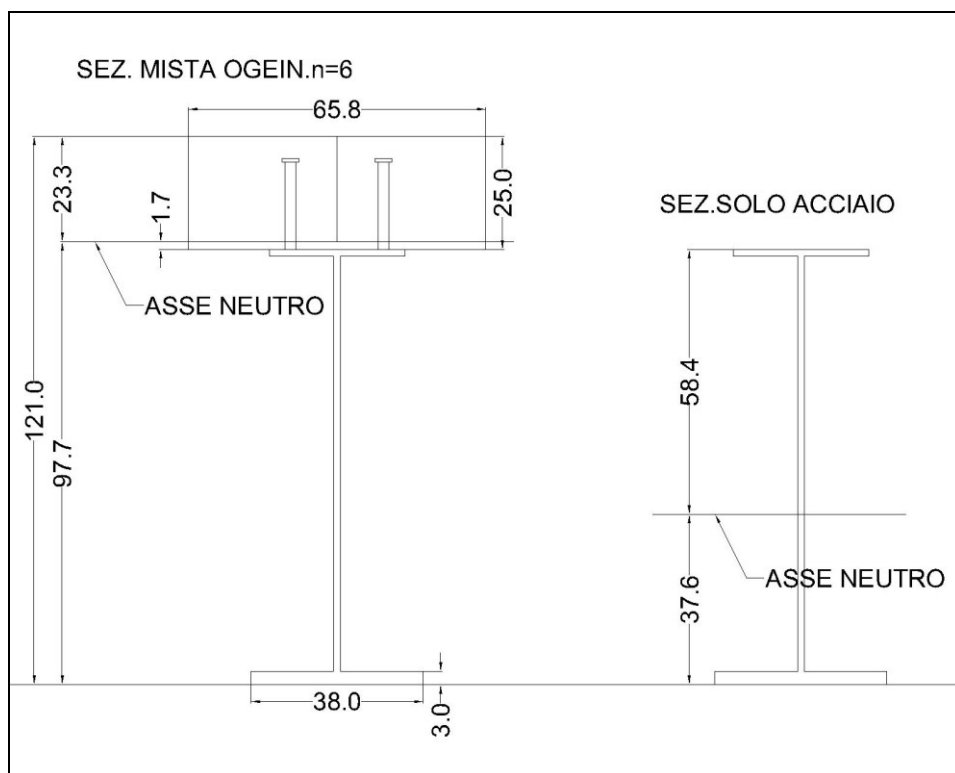


Diagramma deformata per carico accidentale da traffico  $z = -8.39\text{cm}$



Sezioni di Mezzeria Traverso Solo Acciaio (a dx) e dopo la maturazione del getto (a sx).

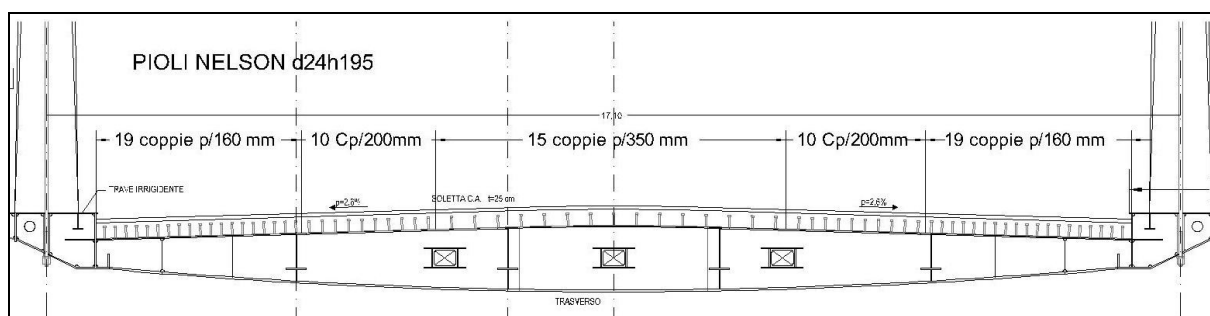
**Verifiche:**

TRAVERSO SEZIONE DI MEZZERIA			
Modello n=∞. Ponte messo in opera caricato dalla fase di getto			
Y <sub>G</sub>	37.63	cm	
Altezza Sez.	95.1	cm	
J <sub>33</sub>	411038	cm <sup>4</sup>	
W <sub>33, l. inf. Acc.</sub>	10923.1	cm <sup>3</sup>	
W <sub>33, l. sup. Acc.</sub>	7152.2	cm <sup>3</sup>	
M <sub>33</sub>	1.17E+07	daNcm	
σ <sub>1, l. sup. Acc.</sub>	1631.7	daN	
σ <sub>1, l. inf. Acc.</sub>	1068.4	daN/cm <sup>2</sup>	
Modello n=6 a fine maturazione della soletta collaborante in c.a. caricato con finiture di impalcato, Binder, Carico Variabili da traffico applicati sulle corsie			
Y <sub>G</sub>	97.7	cm	
Altezza Sez.	121.0	cm	
J <sub>33</sub>	1757681.0	cm <sup>4</sup>	
W <sub>33, lembo sup.</sub>	75404.6	cm <sup>3</sup>	
W <sub>33, lembo inf.</sub>	17992.4	cm <sup>3</sup>	
M <sub>33</sub>	27500000.0	daNcm	
σ <sub>2, lembo sup. Cls.</sub>	60.8	daN	
σ <sub>2, lembo inf. Acc.</sub>	1528.4	daN/cm <sup>2</sup>	
VERIFICA SEZIONE MEZZERIA			
Acciaio CorTen B ASTM A242			
f <sub>yk</sub>	3550	daN/cm <sup>2</sup>	
γ <sub>M0</sub>	1.05		
σ <sub>Ed</sub>	3381.0	daN/cm <sup>2</sup>	
σ <sub>tot Lembo Inf. Acc.</sub>	2596.8	daN/cm <sup>2</sup>	< σ <sub>Ed</sub> Verificata
CLS 32/40			
f <sub>ck</sub>	320.0	daN/cm <sup>2</sup>	
f <sub>cd</sub>	181.3	daN/cm <sup>2</sup>	
E <sub>cm</sub>	333000.0	daN/cm <sup>2</sup>	
σ <sub>lembo sup. Cls</sub>	60.8	daN/cm <sup>2</sup>	< f <sub>cd</sub> Verificata
VERIFICA SEZIONE DI APPOGGIO			
taglio			
V <sub>2, n= infinito</sub>	28200.0	daN	
V <sub>2, n=6</sub>	37900.0	daN	
h <sub>w</sub>	40.5	cm	
t <sub>w</sub>	1.5	cm	
A <sub>w</sub>	60.7	daN/cm <sup>2</sup>	
V <sub>pl</sub>	118583.6	daN/cm <sup>2</sup>	
V <sub>tot max</sub>	66100.0	daN/cm <sup>2</sup>	V<V <sub>pl</sub> VERIFICATA

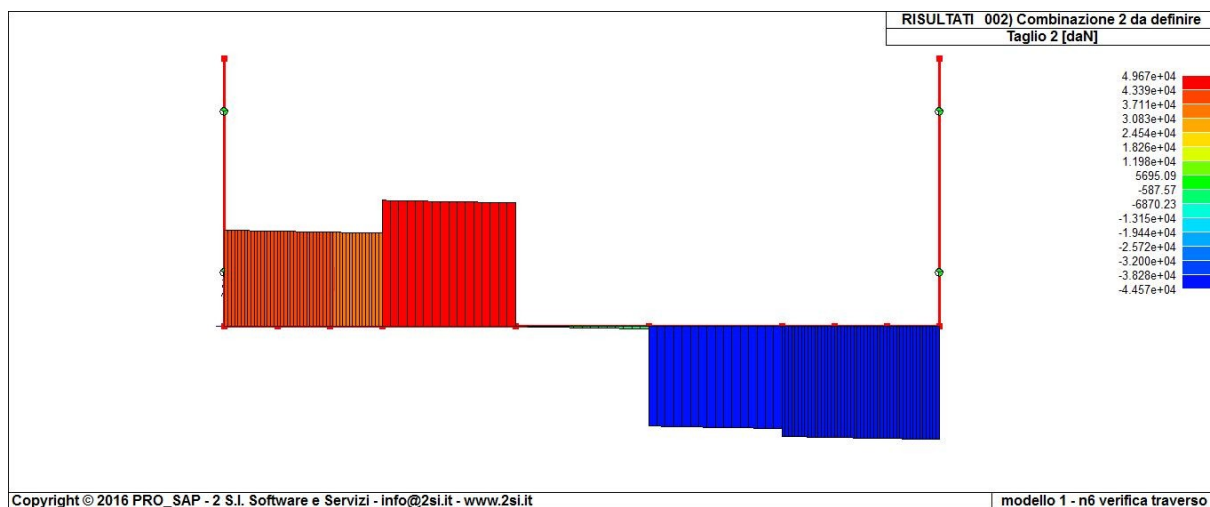


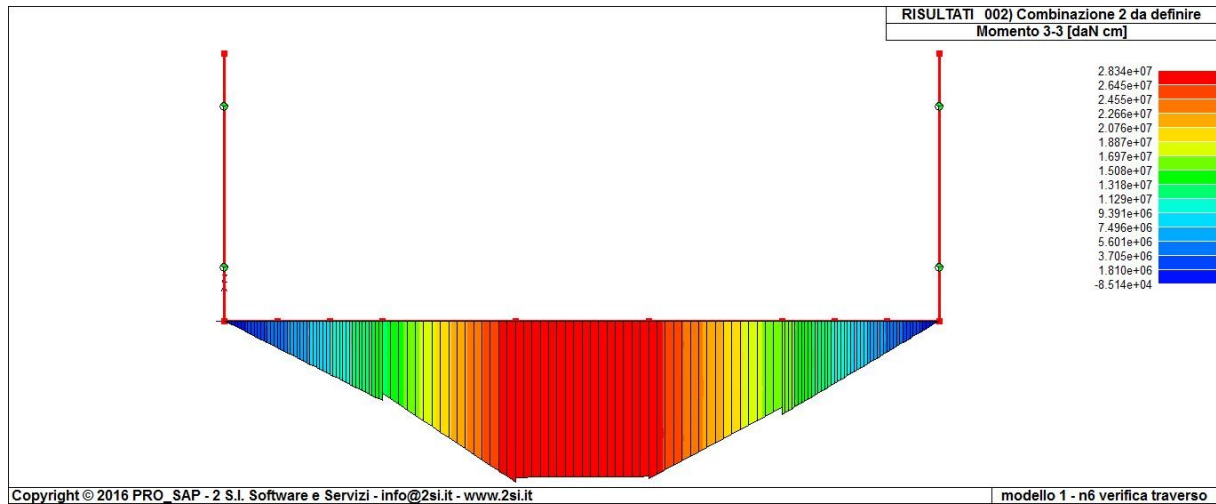
## VERIFICA DELLA PIOLATURA DI CONNESSIONE:

Le piattabande superiori dei Traversi sono piolate con Pioli tipo Nelson diametro 24 mm altezza 195 mm con passo variabile tra le zone laterali e la mezzeria. In dettaglio troviamo partendo dalla trave irrigidente verso il centro : 19 coppie di pioli a passo 160mm quindi 10 coppie a passo 200 mm infine nella mezzeria 15 coppie a passo 350mm. Il tutto meglio evidenziato nello schema grafico seguente:



Nella combinazione di carico più gravosa per la verifica del Traverso abbiamo il seguente andamento del diagramma di Taglio V22 e del Mom Flett. M33.





I diagrammi delle sollecitazioni sopra riportati sono riferiti alla combinazione di carico: Traffico\*1.35 + Finiture\*1.50  $V_{22,max}=4.967e+04$  daN il massimo sforzo di taglio si verifica sul tratti compreso tra il primo ed il secondo longone per una lunghezza pari a 320cm dove insistono 14 coppie di pioli. Sulla base di questa combinazione andremo a verificare la connessione trave soletta.

La sezione di riferimento è la seguente:



Taglio medio nel tratto = 49180 daN

$$Sr. (Mom\ Statico\ parte\ compressa) = (20.6 * 65.8) * 10.3 = 13961\ cm^3$$

$$Jx. (Mom\ di\ Inerzia\ Sez. Omogeneizz. n. 6) = 1'099'087\ cm^4$$

$$L. (lunghezza\ tratto\ piolato\ di\ verifica) = 320\ cm$$

$$Sf.sc. = (T * Sr * L) / Jx = 199'904\ daN\ (Sforzo\ di\ Sconnessione\ sul\ tratto\ in\ verifica)$$

Lo Sforzo di sconnessione è distribuito su numero 28 Pioli.

$$Sconnessione\ sul\ singolo\ Piolo = 199'904 / 28 = 7139\ daN$$

Verifica del Piolo Nelson d24H195:

Resistenza dei Connettori			
Piolo Nelson d24 h195 mm			
d piolo cm	2.4		
h piolo cm	19.5		
h/d piolo	8.1	h/d>4	
f <sub>t</sub> res. Acc. Piolo	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>	
Gamma v connessioni	1.25		
f <sub>ck</sub> res cilindrica soletta	320.0	daN/cm <sup>2</sup>	
E <sub>c</sub> modulo Joung cls	333457.6	daN/cm <sup>2</sup>	
Alfa	1.0	h/d>4	
Prd, Acc	13026.4	daN	Res-Piolo per taglio acciaio
Prd, CLS	13804.0	daN	Res. Piolo per rifollamento cls
Res. Ultima Piolo	<b>13026.4</b>	daN	Mimimo tra le precedenti

$$Sc.sul\ piolo = 7139\ daN < Res.ult.Piolo = 13026\ daN\ \underline{Verificato.}$$

## VERIFICA TRASVERSO CORRENTE , CONCLUSIONI.

Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

Gli elementi strutturali risultano ampiamente verificati agli SLU. Per quanto riguarda gli spostamenti nelle direzioni X, Y, Z agli SLE non determinano particolari criticità dal punto di vista deformativo per la struttura.

## **VERIFICHE DELLA TRAVE IRRIGIDENTE**

Per la verifica delle travi irrigidenti è stato esaminato il modello modello n=6 caricato oltre che dai carichi permanenti propri e portati anche da una configurazione del carico variabile da traffico applicato sulle 3 corsie principali dove la prima corsia, la più carica, è posta vicino all'arco e con il carico tandem applicato a  $\frac{1}{4}$  dei longheroni in modo da massimizzare le sollecitazioni sulla trave irrigidente, come da letteratura consolidata.

### **VERIFICHE AGLI SLU e SLE DELLE MEMBRATURE:**

Sulla base dei risultati dell'Analisi Globale del Modello, secondo le combinazioni dei casi di carico considerati, vengono condotte le verifiche delle membrature agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio (verifiche degli spostamenti) previsti dalla Norma.

In tutte le Combinazioni le Prestazioni minime richieste dalla Normativa sono state soddisfatte.

Di seguito riportiamo alcune immagini prodotte dal postprocessore grafico che illustrano chiaramente gli stati tensionali e deformativi della struttura nelle combinazioni di carico più significative.

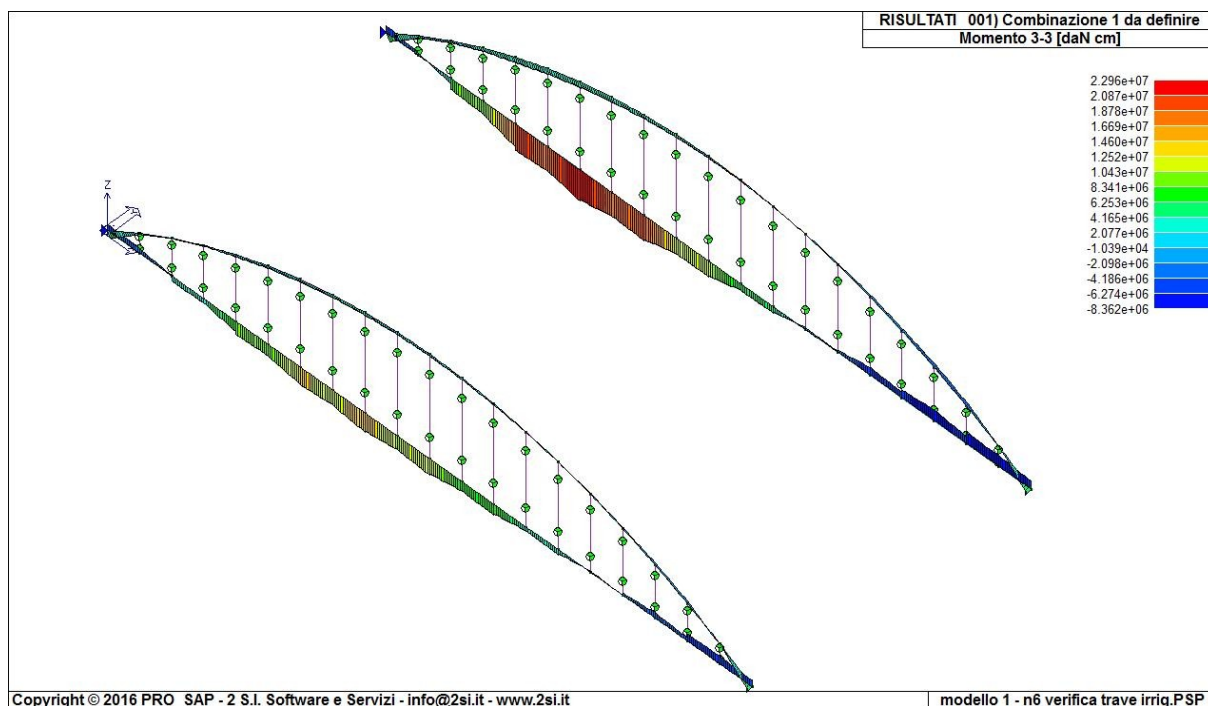


Diagramma Momento flettente M33 . CMB: Perm\*1.35+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35



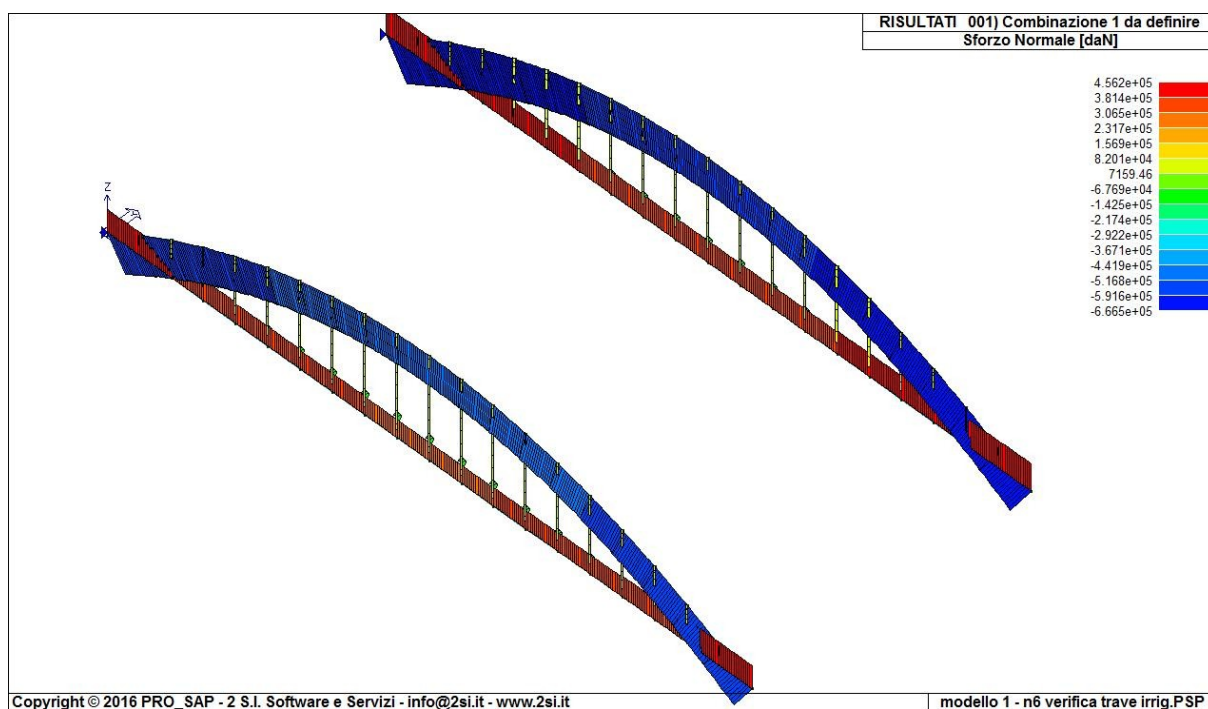


Diagramma Sforzo Normale . CMB: Perm\*1.35+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35

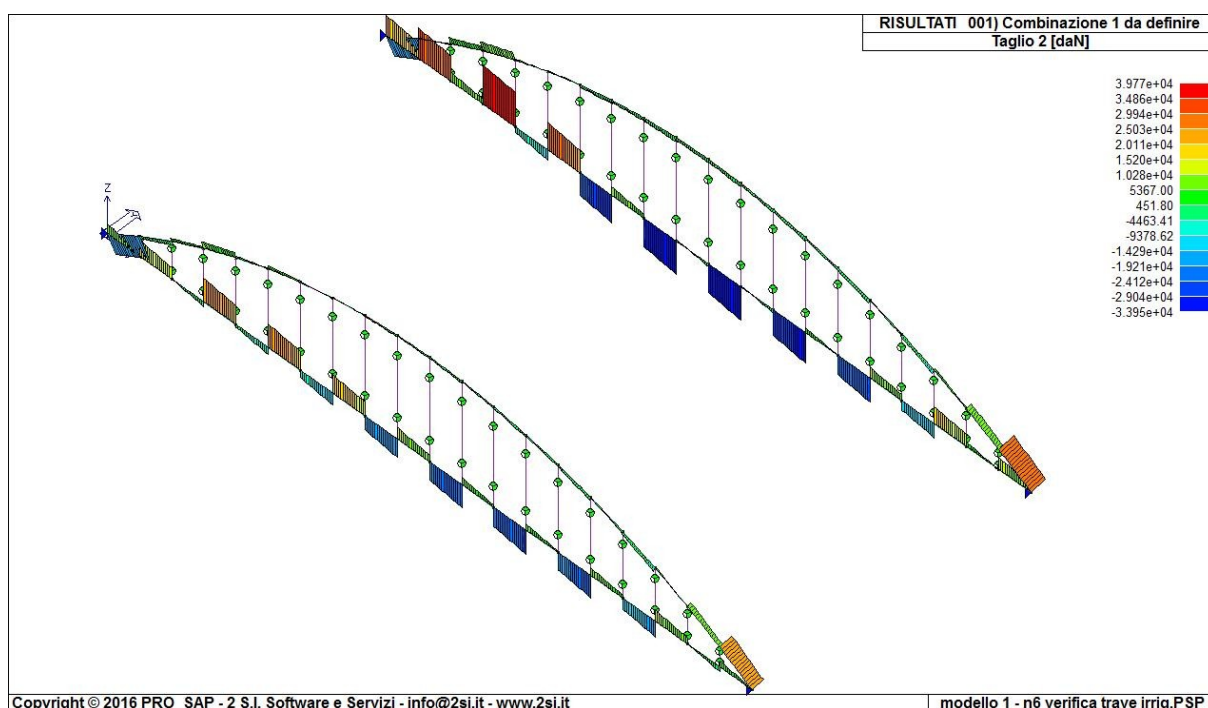


Diagramma Involuppo Taglio V2. CMB: Perm\*1.35+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35

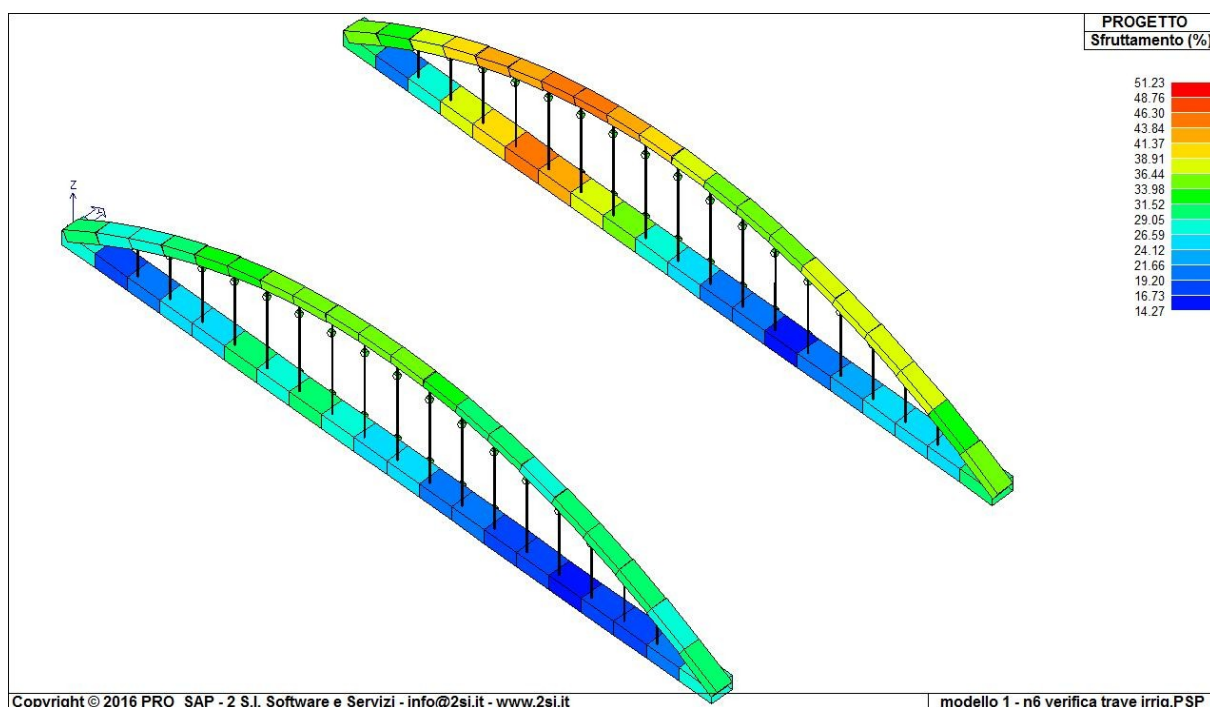


Diagramma percentuale di sfruttamento elementi CMB:  $Perm * 1.35 + Finit. * 1.50 + Traff. * 1.35$ .

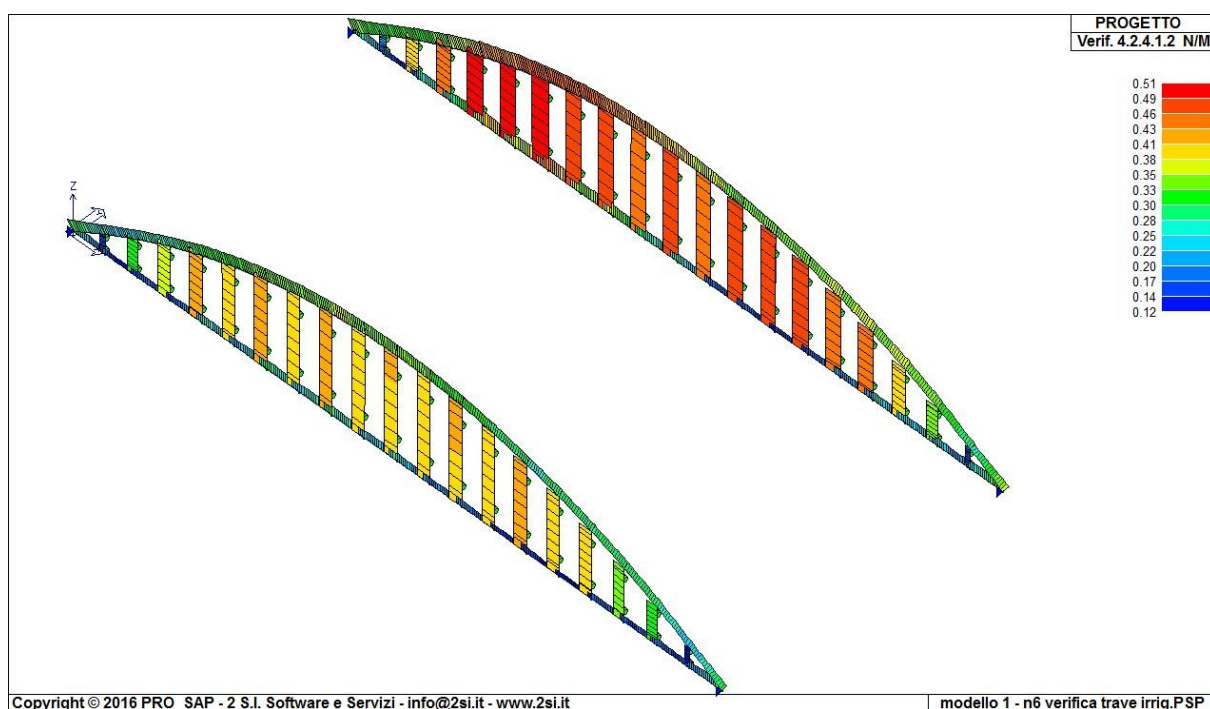
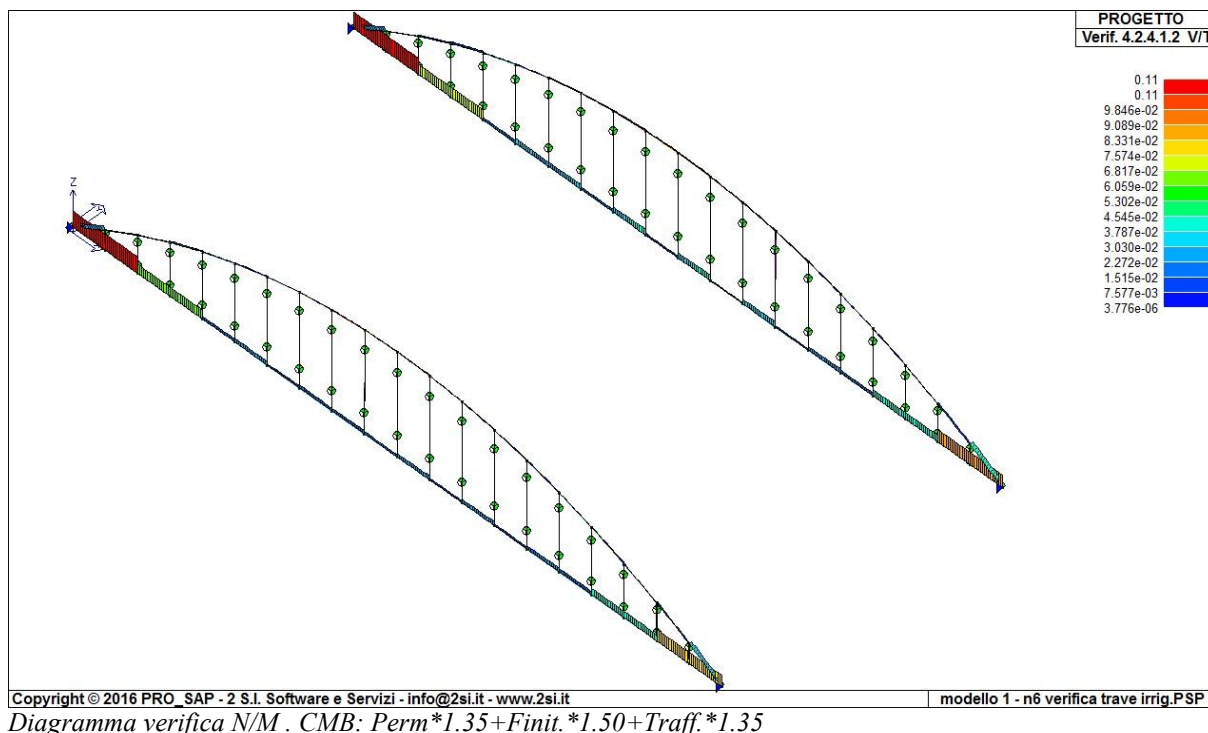


Diagramma verifica N/M . CMB:  $Perm * 1.35 + Finit. * 1.50 + Traff. * 1.35$



## CONCLUSIONI.

Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

Gli elementi strutturali risultano ampiamente verificati agli SLU, per quanto riguarda gli spostamenti nelle direzioni X, Y, Z agli SLE non determinano particolari criticità dal punto di vista deformativo per la struttura.

## VERIFICHE DELLA PENDINATURA

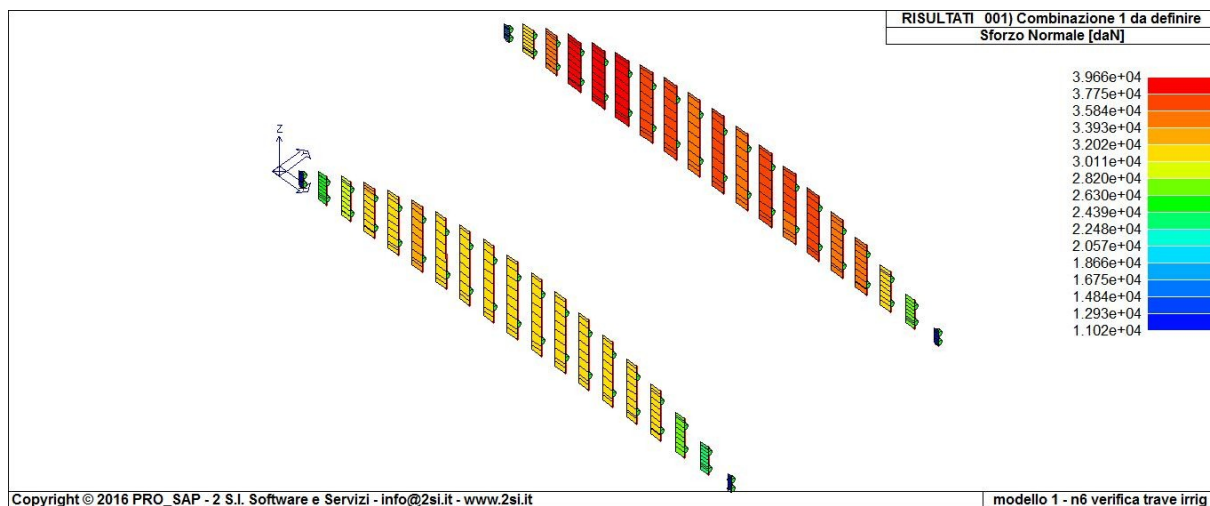
Per la verifica del pendino è stato esaminato il modello modello n=6 caricato oltre che dai carichi permanenti e portati con carico variabile da traffico applicato sulle 3 corsie principali dove la prima corsia, la più carica, è posta vicino all'arco e con il carico tandem applicato a metà dei longheroni in modo da massimizzare le sollecitazioni sull'elemento indagato.

### Materiale strutturale del pendino:

I Pendini sono stati realizzati in acciaio Inox tipo AISI 316 le cui caratteristiche meccaniche sono:

	$R_m$	$R_{p0.2}$	A	Resilienza KV
<b>AISI 316 / AISI 316L</b>	500 ÷ 700 MPa	≥ 200 MPa	40 %	≥ 100 J

Il pendino è costituito da un tondo pieno di diametro esterno 54 mm e sezione resistente  $D_i = 52\text{mm}$  l'elemento è sempre sollecitato a trazione semplice di seguito riportiamo il diagramma dello sforzo normale nella combinazione di progetto:



*Sforzo Normale sulla pendinatura.*

Verifica SLU.

$$D_n = 54 \text{ mm}$$

$$D_i = 52 \text{ mm}$$

$$A_{res.} = 21,24 \text{ cmq}$$

$$G_{amma} = 1.05$$

$$F_{yd} = 2000/1.05 = 1904 \text{ daN/cm}$$

$$N_{ud} = 1904 * 21.24 = 40440 \text{ daN}$$

$$D_{ed} \text{ max} = 39660 \text{ daN} < N_{ud} \quad \underline{\text{Verificato.}}$$

## **VERIFICHE DELL'ARCO**

Per la verifica dell'arco è stato esaminato il modello modello n=6 caricato oltre che dai carichi permanenti e portati con carico variabile da traffico applicato sulle 3 corsie principali dove la prima corsia, la più carica, è posta vicino all'arco e con il carico tandem applicato a metà dei longheroni in modo da massimizzare le sollecitazioni sull'arco.

## **VERIFICHE AGLI SLU e SLE DELLE MEMBRATURE:**

Sulla base dei risultati dell'Analisi Globale del Modello, secondo le combinazioni dei casi di carico considerati, vengono condotte le verifiche delle membrature agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio (verifiche degli spostamenti) previsti dalla Norma.

In tutte le Combinazioni le Prestazioni minime richieste dalla Normativa sono state ampiamente soddisfatte.

Di seguito riportiamo alcune immagini prodotte dal postprocessore grafico che illustrano chiaramente gli stati tensionali e deformativi della struttura nelle combinazioni di carico più significative.

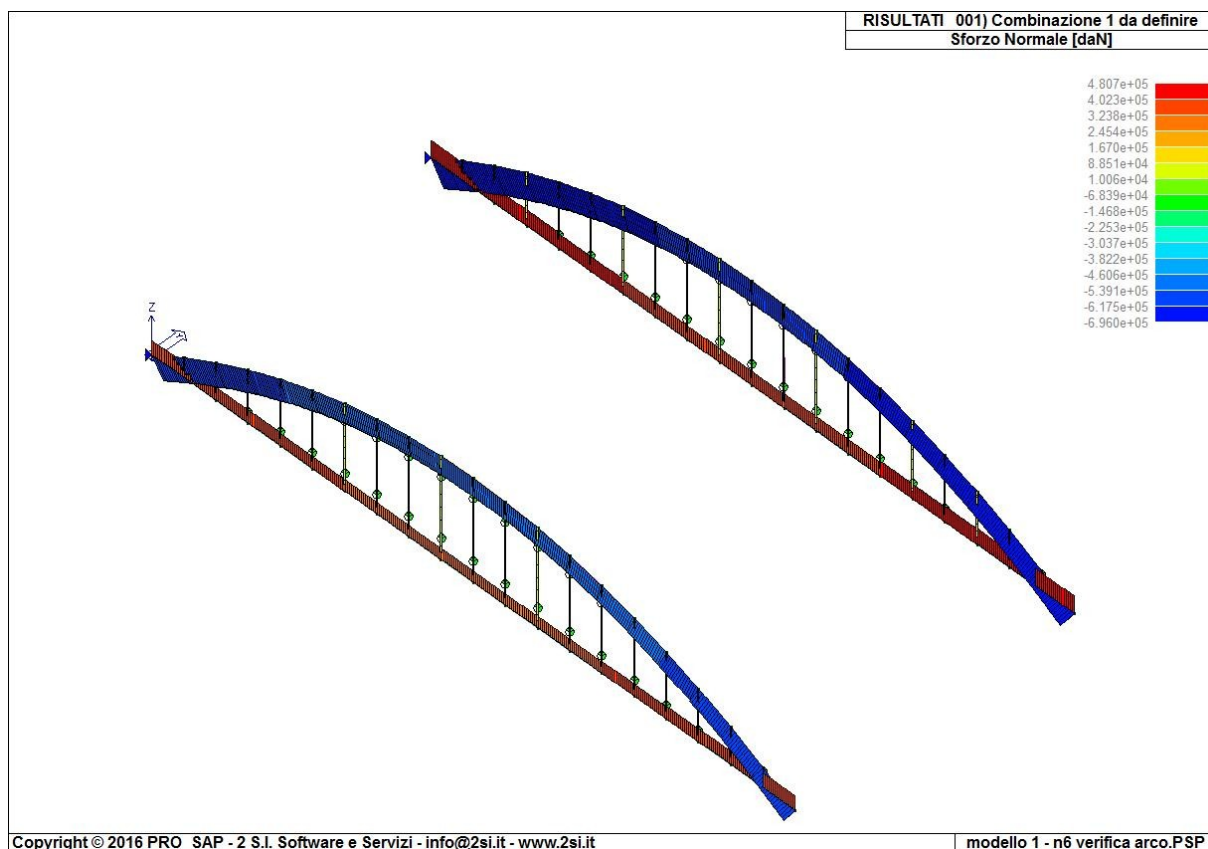


Diagramma sforzo normale N. Arco. CMB: Perm\*1.35+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35

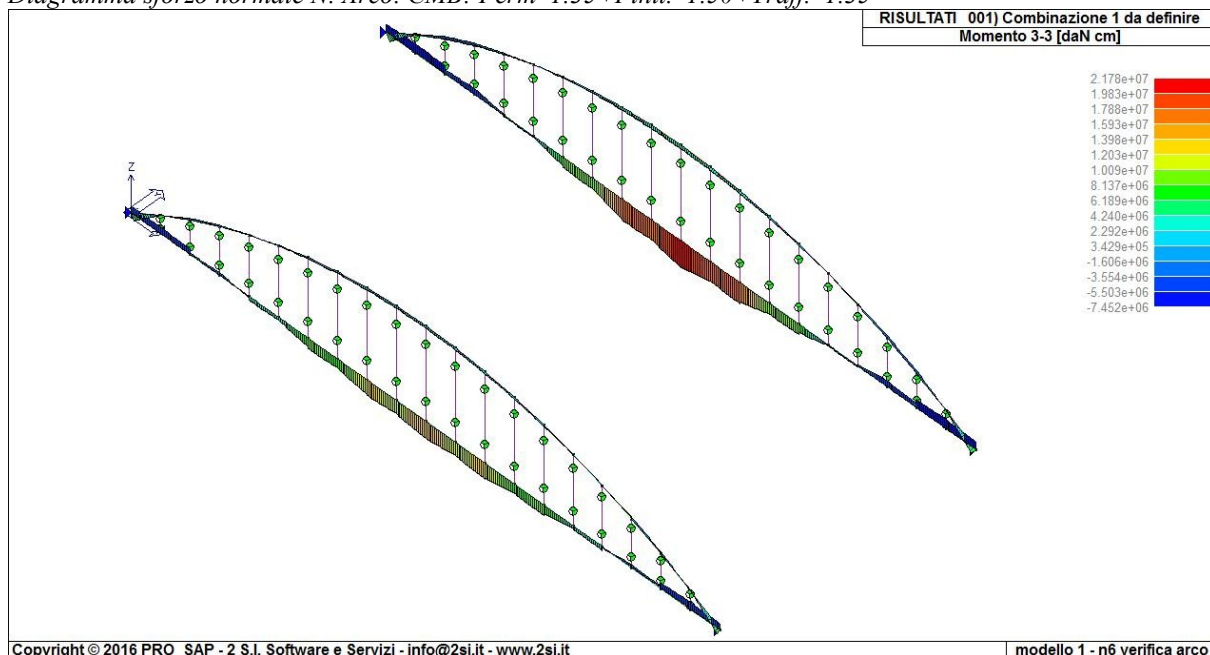


Diagramma M. Flett. M33. Arco. CMB: Perm\*1.35+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35

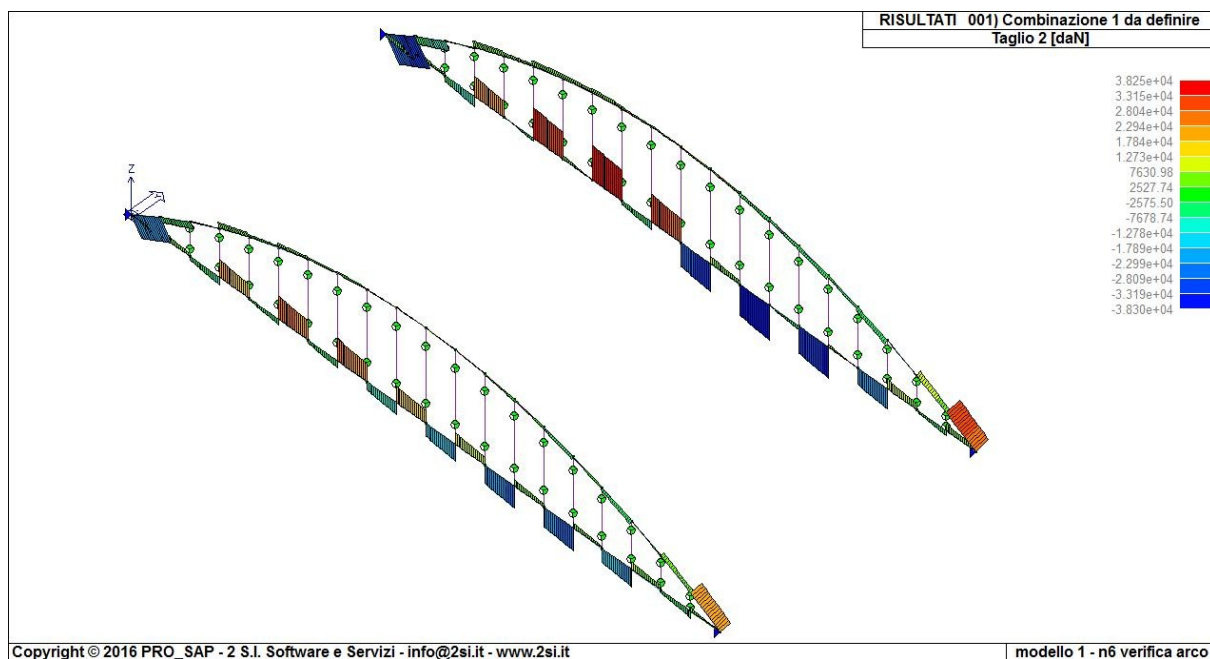
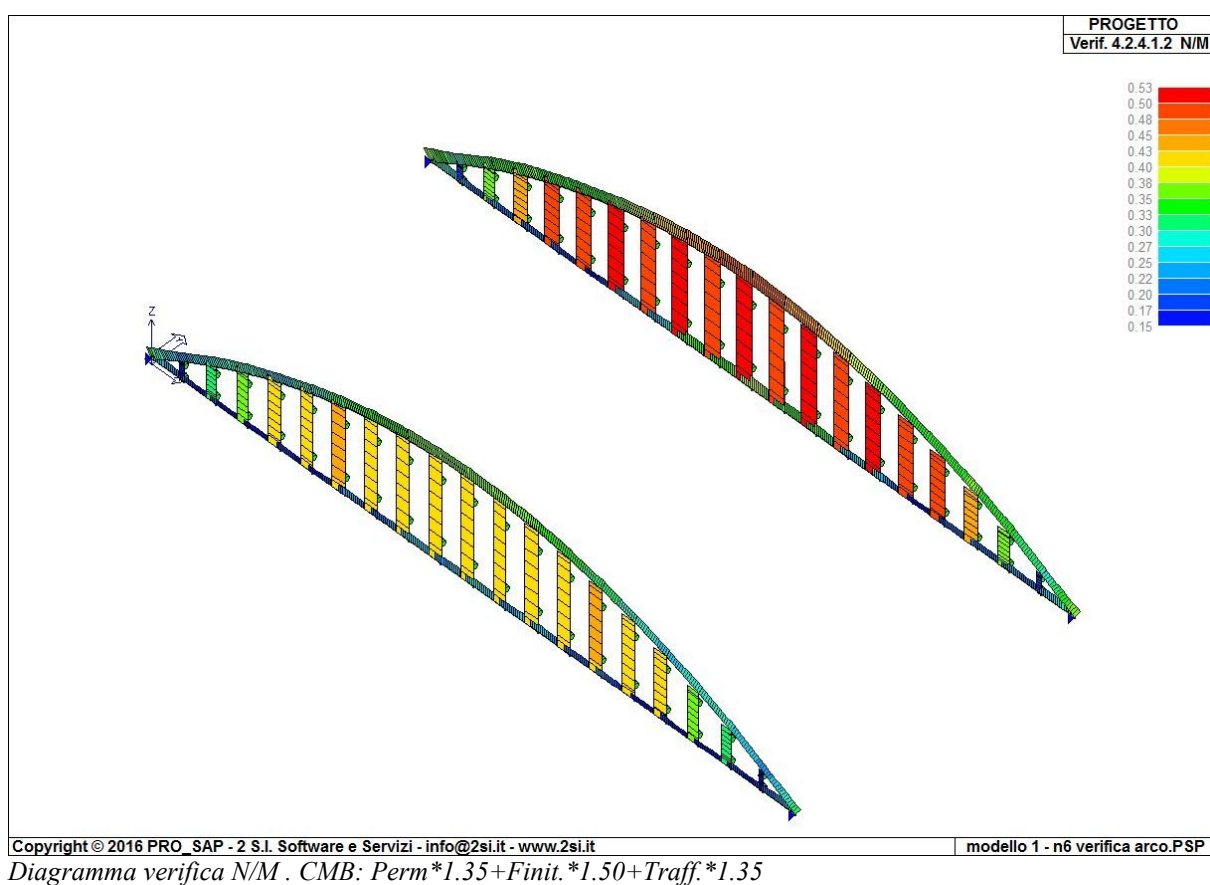
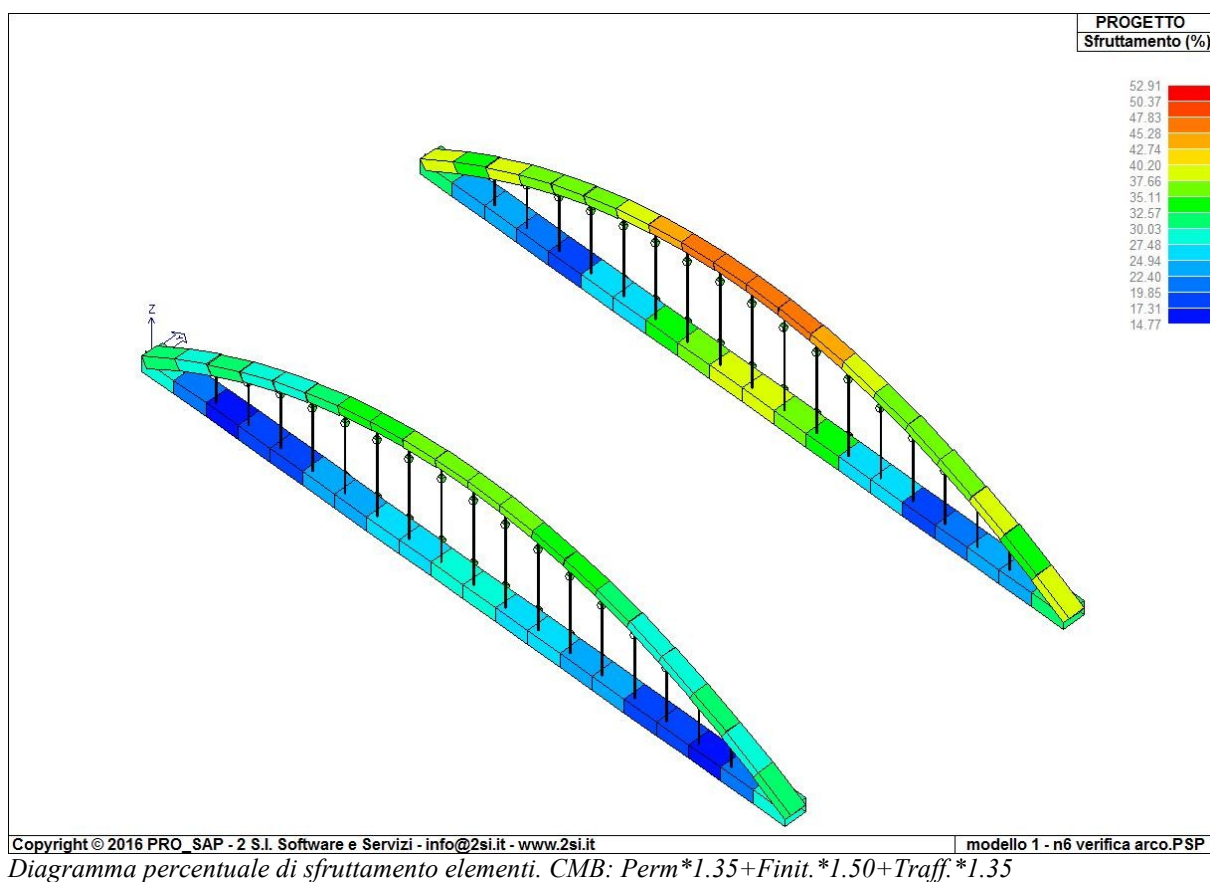


Diagramma Taglio V2. Arco. CMB: Perm\*1.35+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35





## **CONCLUSIONI.**

Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

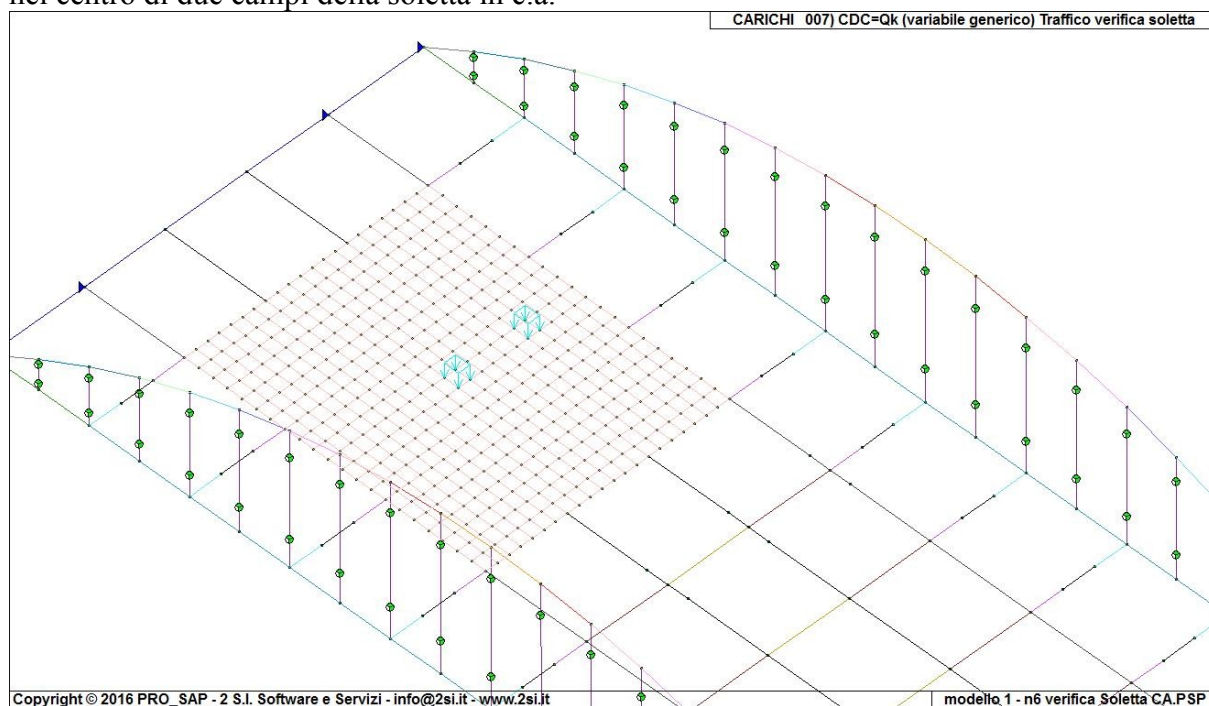
Gli elementi strutturali risultano ampiamente verificati agli SLU, per quanto riguarda gli spostamenti nelle direzioni X, Y, Z agli SLE non determinano particolari criticità dal punto di vista deformativo per la struttura.



## **VERIFICHE LOCALI SOLETTA C.A.**

Per la verifica della soletta in c.a. è stato esaminato il modello modello n=6 caricato con carico variabile da traffico su un impronta di 56.4x45.5 cm centrato su due piastre contigue di c.a. e il carico dovuto Binder distribuito su tutta la superficie analizzata. Non è stato considerato nella combinazione di carico il peso proprio poiché portato dalla struttura in acciaio e non dalla soletta stessa.

Schema di carico per massimizzare l'impegno della soletta in c.a.: Carico Tandem posizionato nel centro di due campi della soletta in c.a.



## **VERIFICHE AGLI SLU e SLE DELLE MEMBRATURE:**

Sulla base dei risultati dell'Analisi Globale del Modello, secondo le combinazioni dei casi di carico considerati, vengono condotte le verifiche delle membrature agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio (verifiche degli spostamenti) previsti dalla Norma.

In tutte le Combinazioni le Prestazioni minime richieste dalla Normativa sono state ampiamente soddisfatte.

Di seguito riportiamo alcune immagini prodotte dal postprocessore grafico che illustrano chiaramente gli stati tensionali e deformativi della struttura nelle combinazioni di carico più significative.

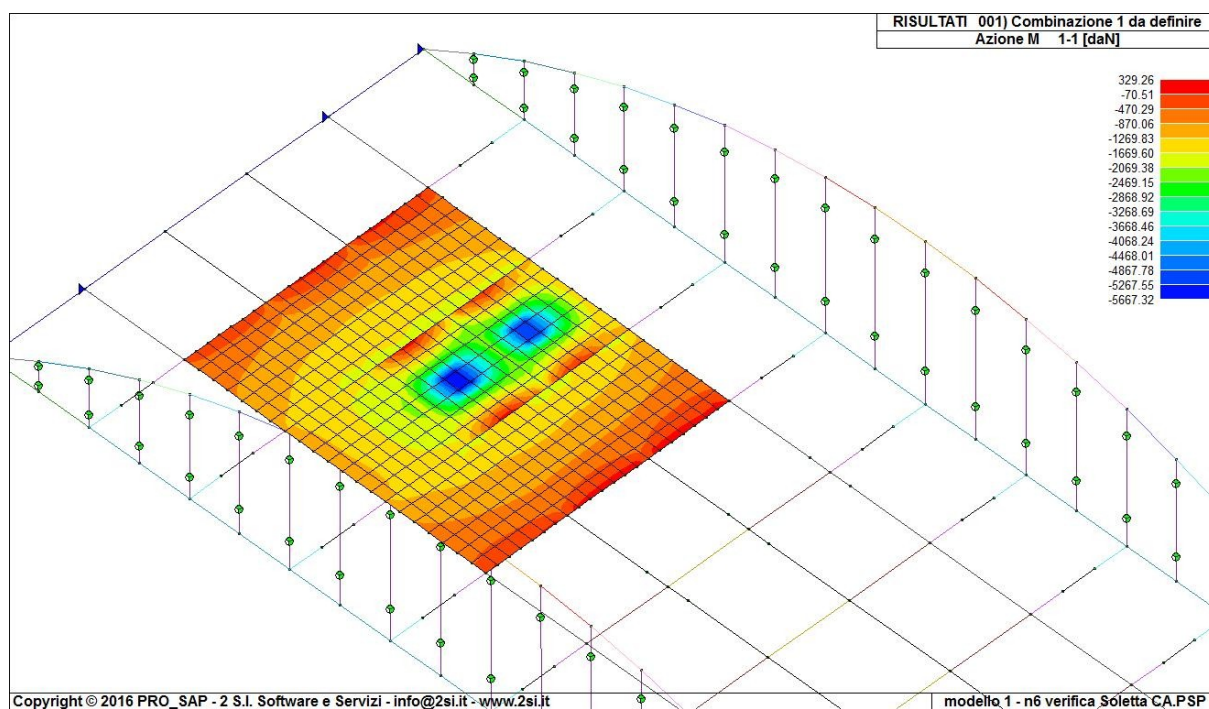


Diagramma M. Flett. M11. Soletta c.a. CMB: Perm\*0+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35

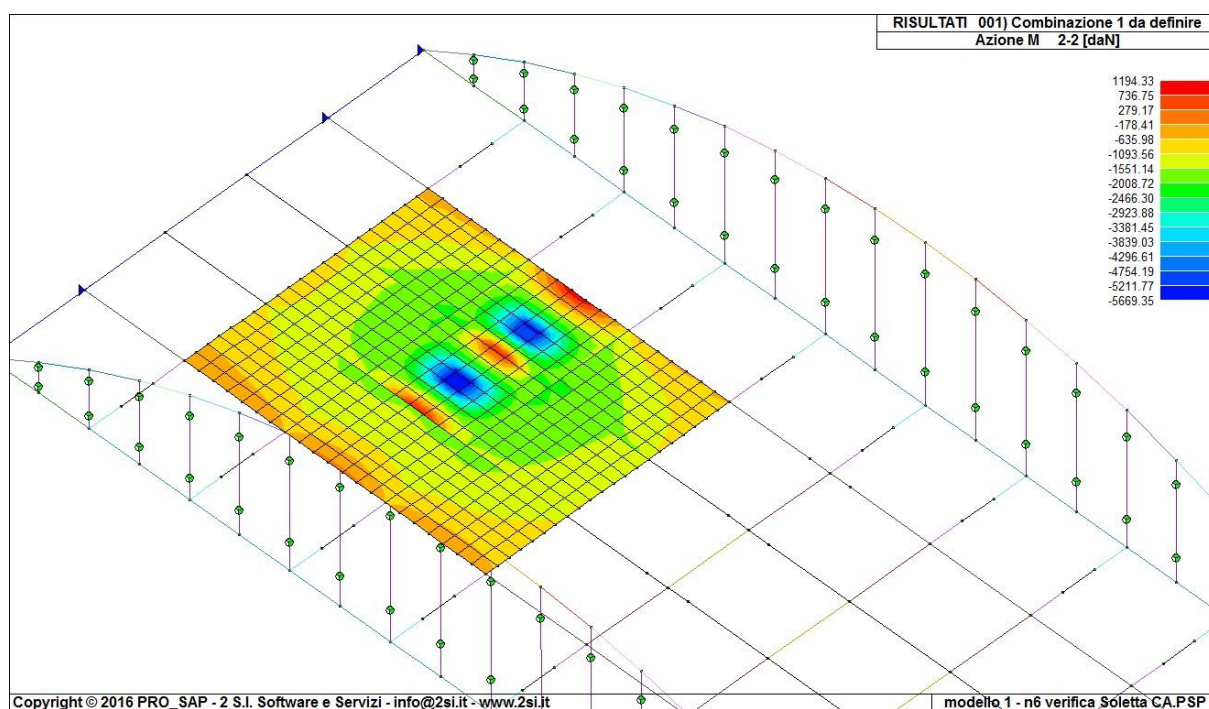


Diagramma M. Flett. M22. Soletta c.a. CMB: Perm\*0+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35

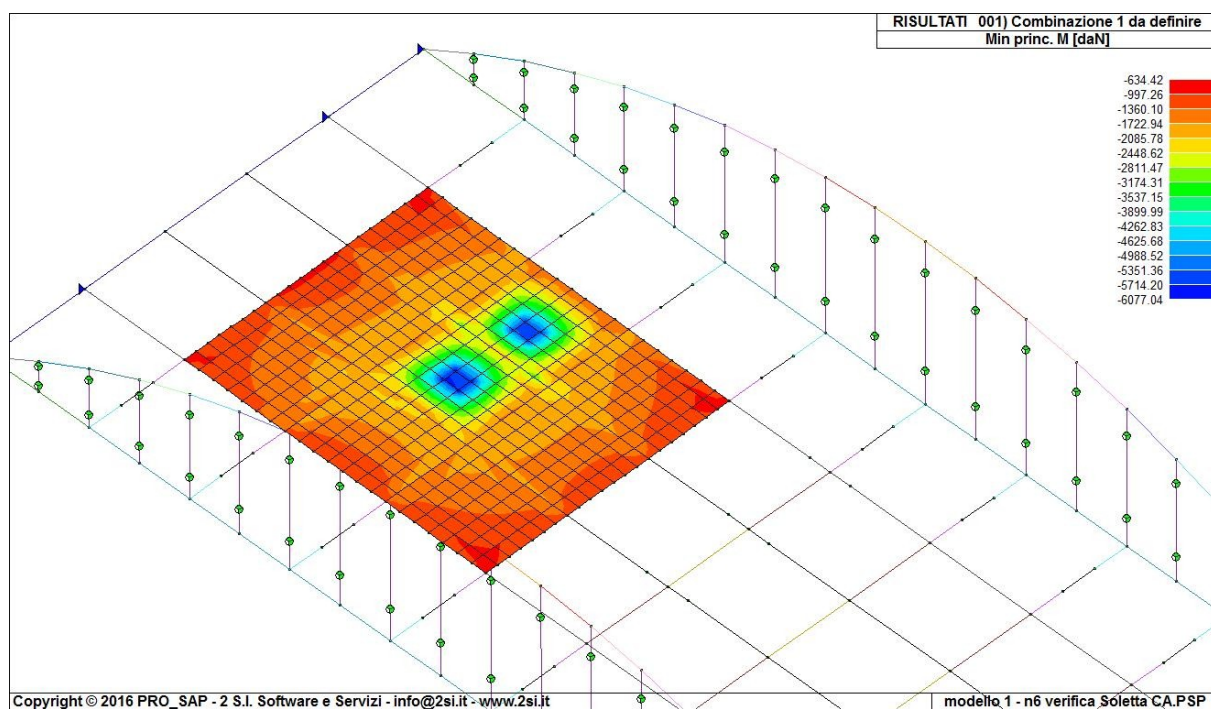
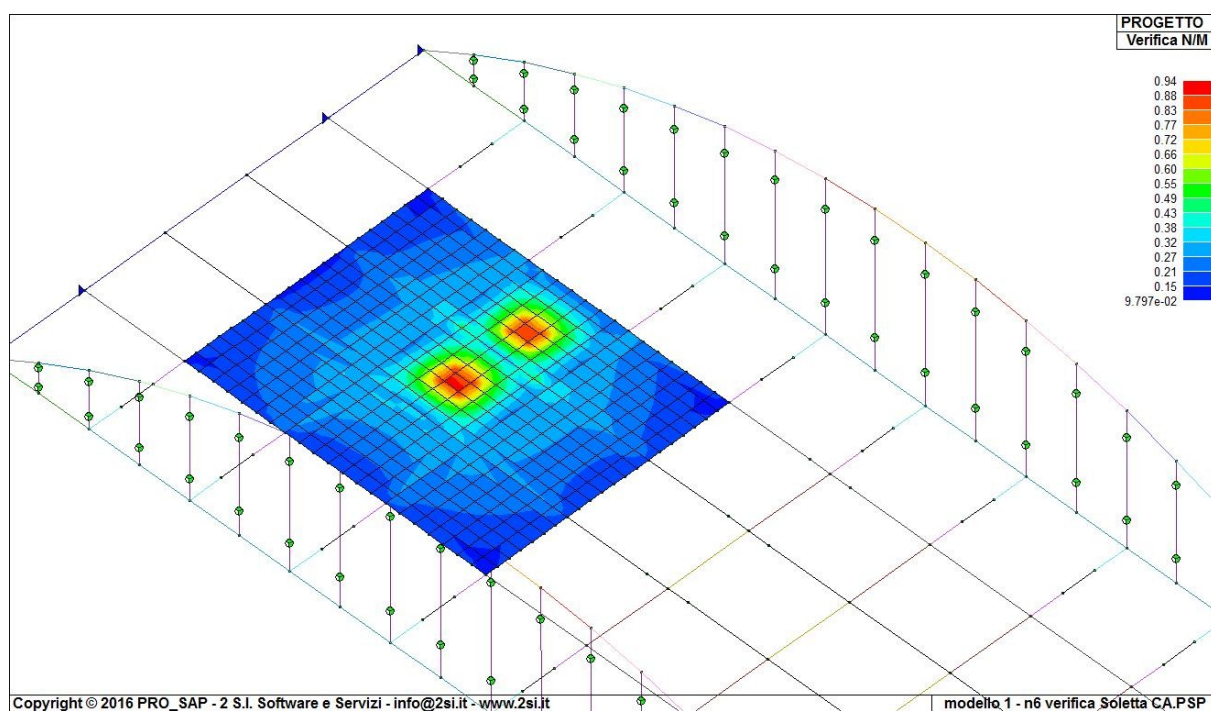
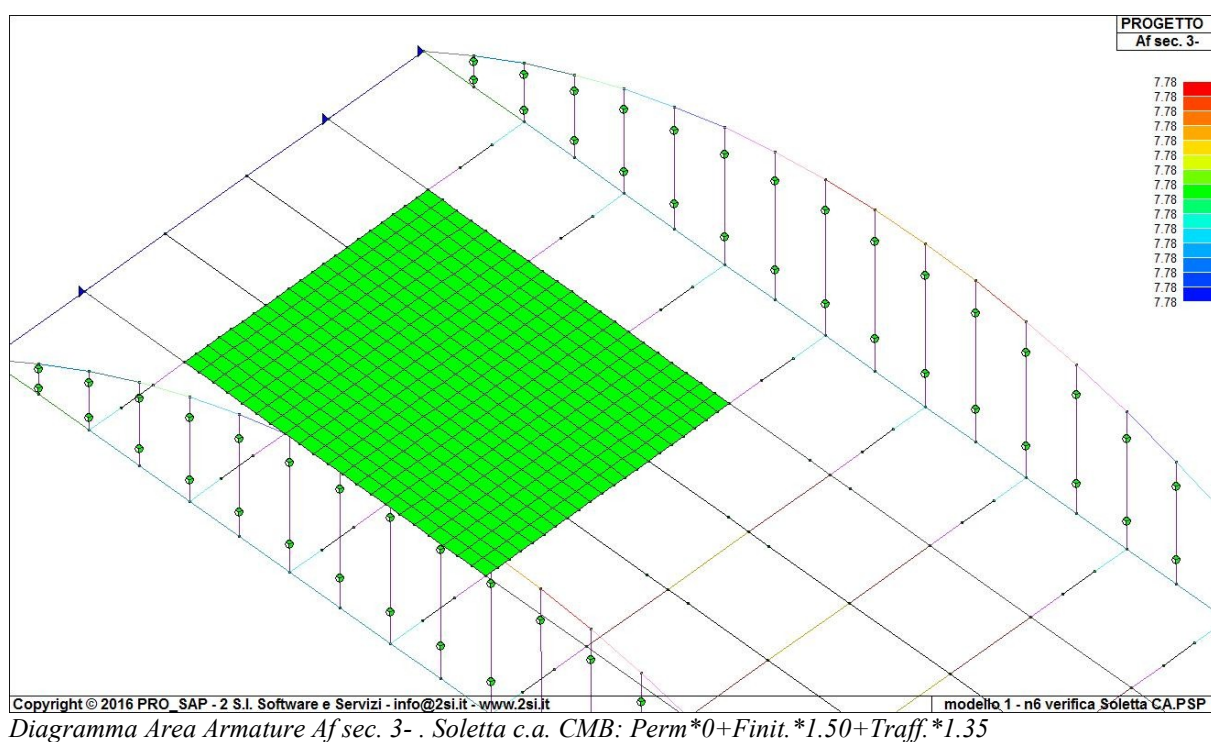
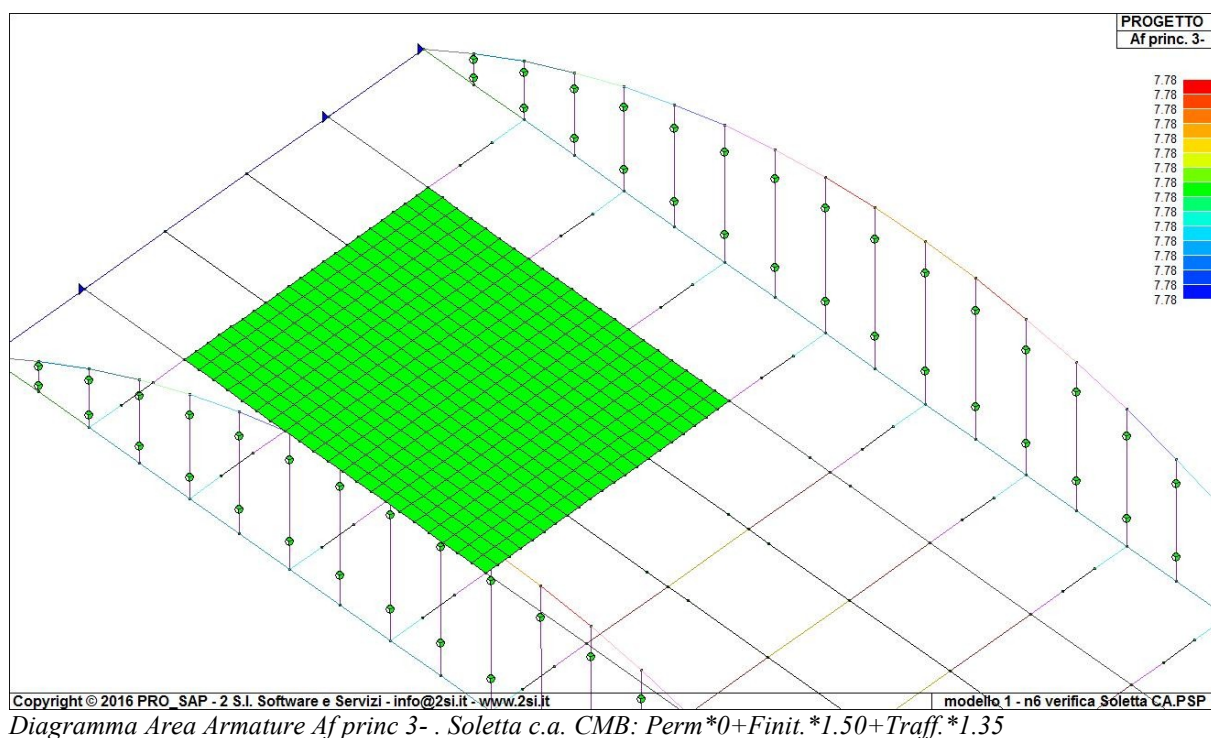


Diagramma Minimo princ. M .soletta c.a. CMB: Perm\*0+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35



Verifica N/M. Soletta c.a. CMB: Perm\*0+Finit.\*1.50+Traff.\*1.35





## CONCLUSIONI.

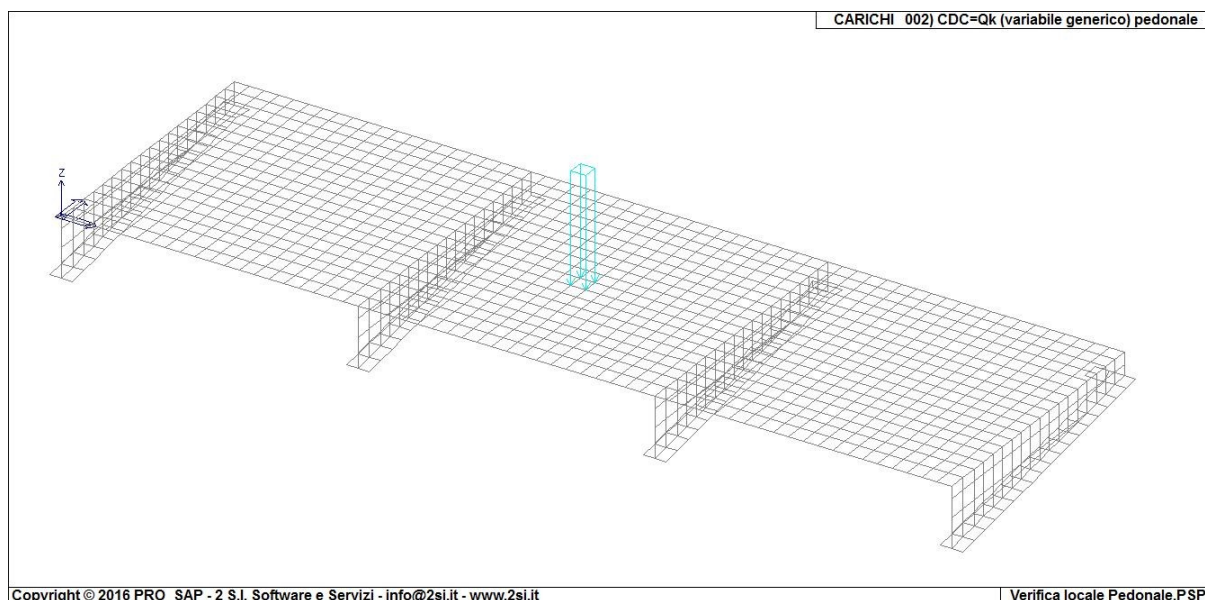
Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

Gli elementi strutturali risultano ampiamente verificati agli SLU, per quanto riguarda gli spostamenti nelle direzioni X, Y, Z agli SLE non determinano particolari criticità dal punto di vista deformativo per la struttura.

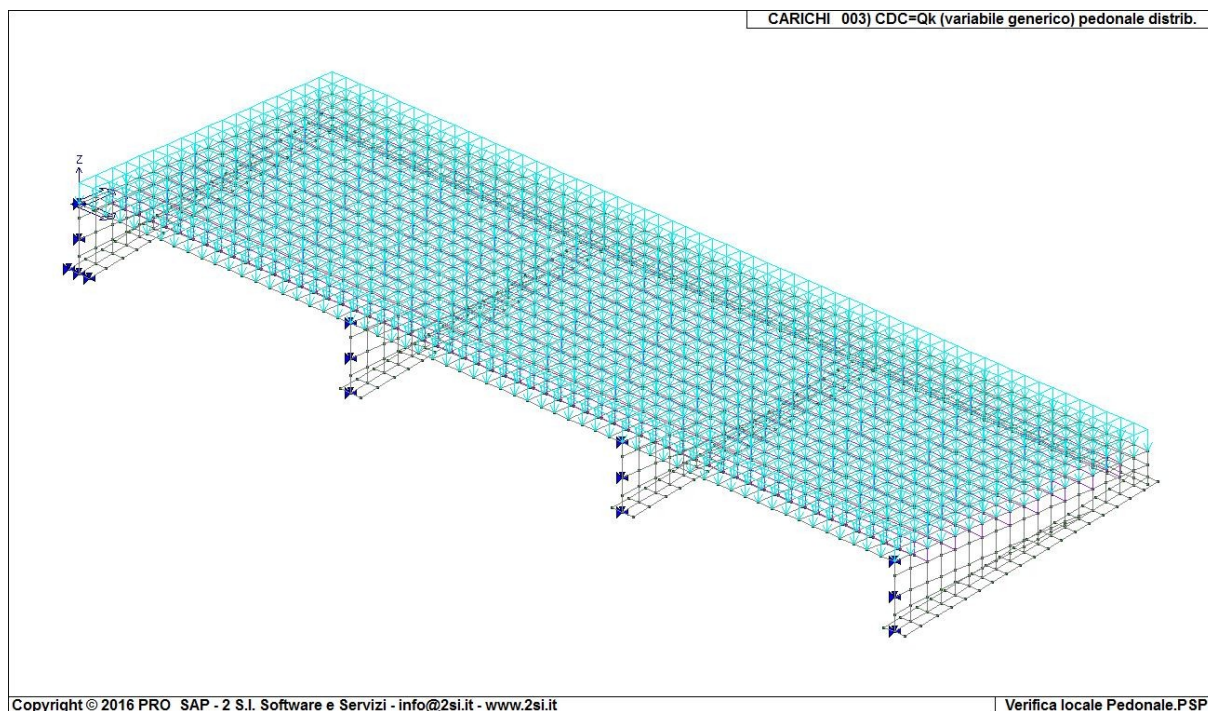
## **VERIFICA LOCALE PASSERELLA PEDONALE.**

Per la verifica della passerella pedonale del ponte è stata esaminata una porzione della passerella costituita da 4 mensole a doppio T a sezione variabile con ali e anima  $s=10\text{mm}$ , collegate tra loro da lamiera  $s=10\text{mm}$  irrigidita da piatti verticali ortogonali alle mensole  $s=8\text{mm}$ . Il modello è stato caricato prima con carico isolato da traffico, secondo lo schema di carico n. 4 par. 5.1.3.3.5 delle NTC 2008, pari a  $10\text{KN}$  su un impronta di  $10\times 10\text{ cm}$  centrato rispetto al campo centrale della parte di struttura modellata e successivamente con carico distribuito, secondo lo schema di carico n. 5 par. 5.1.3.3.5 delle NTC 2008, pari a  $5\text{KN/mq}$ .

Schema di carico per la verifica locale della passerella pedonale: Carico isolato di  $10\text{KN}$  posizionato in posizione centrale e avente impronta  $10\times 10\text{cm}$ .



Schema di carico per la verifica locale della passerella pedonale: Carico distribuito di 5KN/m.



## VERIFICHE AGLI SLU e SLE DELLE MEMBRATURE:

Sulla base dei risultati dell'Analisi Globale del Modello, secondo le combinazioni dei casi di carico considerati, vengono condotte le verifiche delle membrature agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio (verifiche degli spostamenti) previsti dalla Norma.

In tutte le Combinazioni le Prestazioni minime richieste dalla Normativa sono state ampiamente soddisfatte.

Di seguito riportiamo alcune immagini prodotte dal postprocessore grafico che illustrano chiaramente gli stati tensionali e deformativi della struttura nelle combinazioni di carico più significative.



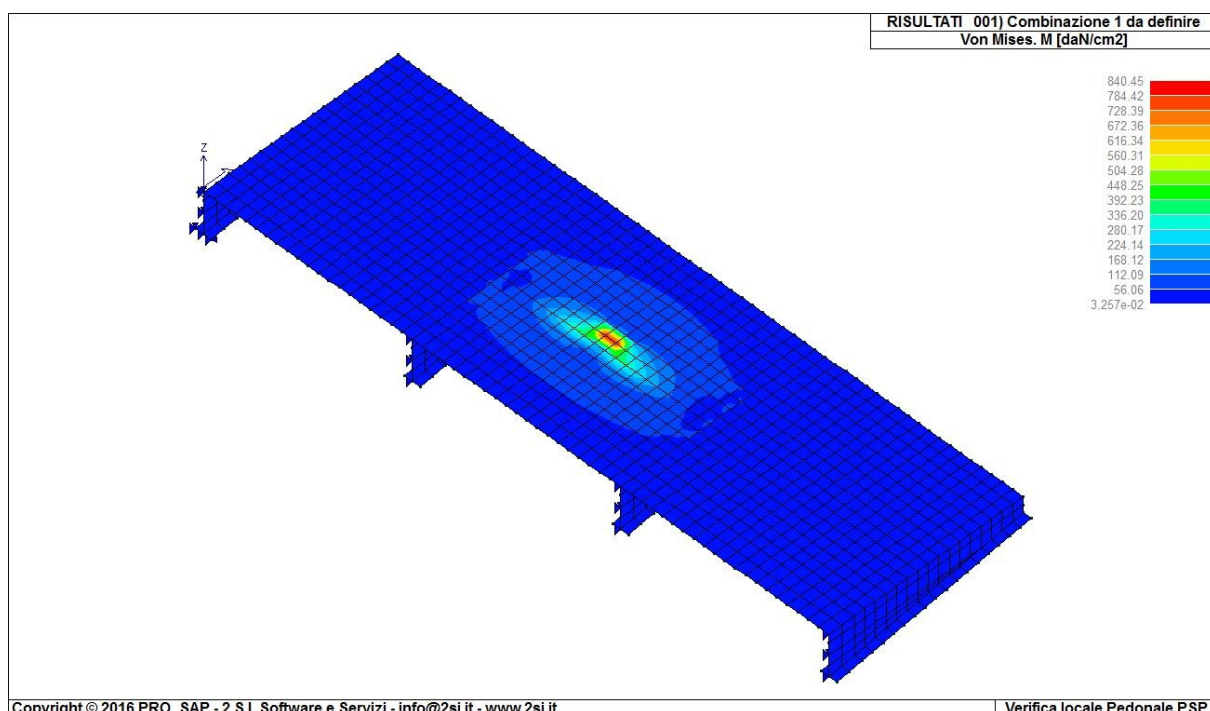


Diagramma M. Flett. M22 Von Mises. Carico conc. CMB: Perm\*1.35+Traff.\*1.35

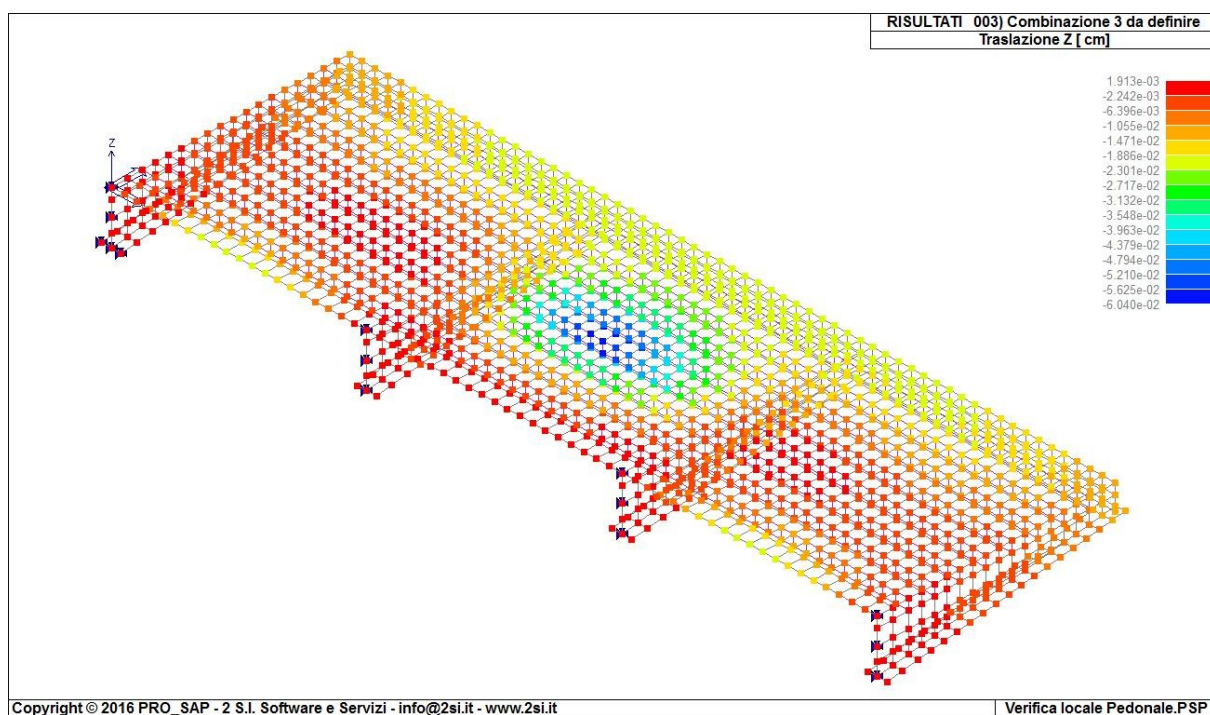
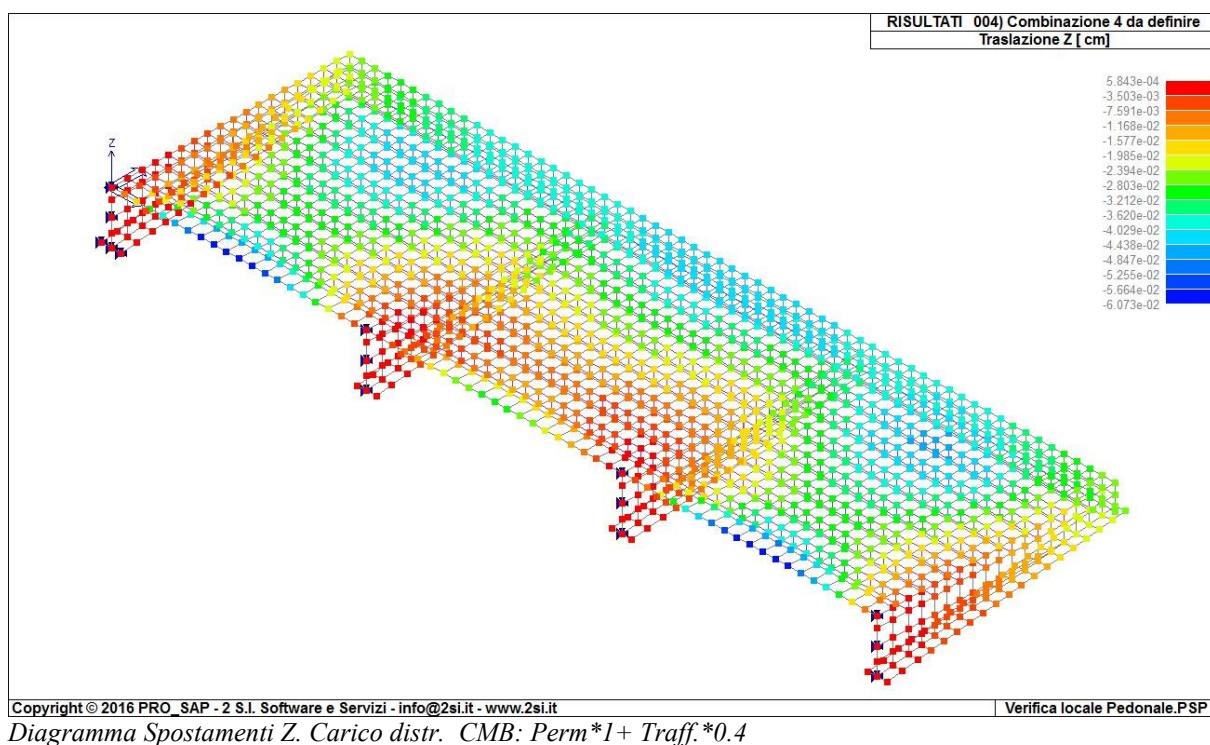
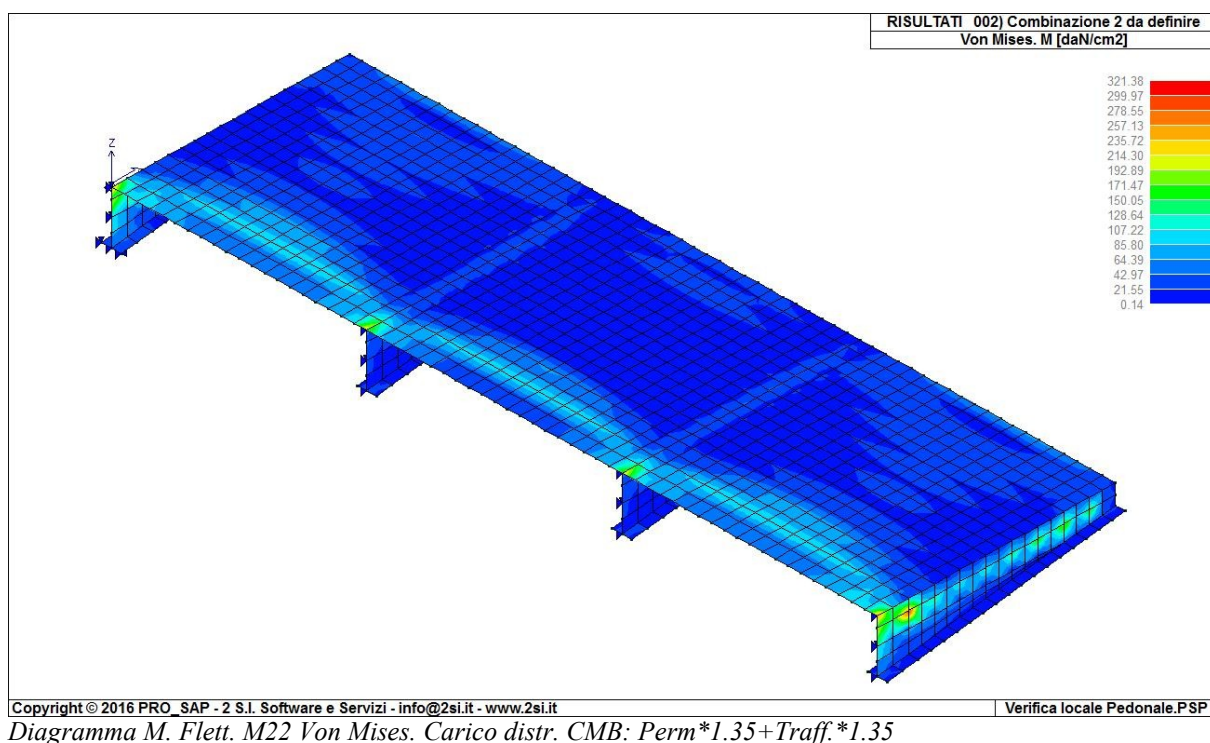


Diagramma Spostamenti Z. Carico conc. CMB: Perm\*1+ Traff.\*0.4



## CONCLUSIONI.

Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

Gli elementi strutturali risultano ampiamente verificati agli SLU, per quanto riguarda gli spostamenti nelle direzioni X, Y, Z agli SLE non determinano particolari criticità dal punto di vista deformativo per la struttura.

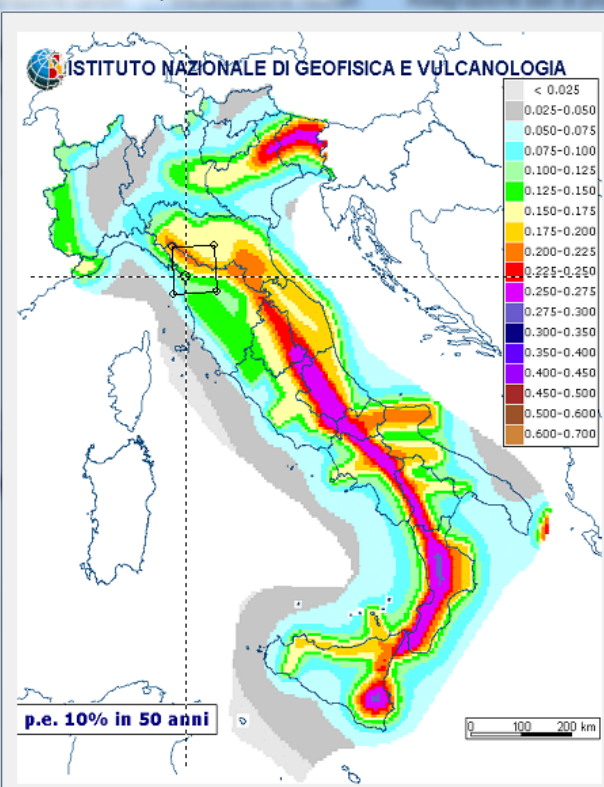


## VERIFICA SISMICA.

Per la verifica sismica è stato considerato il modello nella condizione  $n=6$  considerando i soli Carichi Permanenti. Sono stati modellati gli appoggi con le caratteristiche previste dal progetto, ovvero appoggi elastomerici in Neoprene armato Tipo ALGABLOC NB6.500x700x141 aventi Rigidezza rispetto agli spostamenti orizzontali nei due sensi X e Y pari a  $K_h=4.09\text{KN/mm} = 4090 \text{ daN/cm}$  che inoltre garantiscono uno spostamento orizzontale massimo nei due sensi pari a  $\pm 77\text{mm}$  un carico verticale massimo pari a 1178 ton una reazione orizzontale massima pari a 31.5 ton.

## PARAMETRI SISMICI ADOTTATI:

Valutazione della pericolosità sismica



**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

**Vertici della maglia elementare**

Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza [km]
18932	10.085	43.986	2.571
18933	10.155	43.988	4.389
18711	10.152	44.038	5.300
18710	10.083	44.036	3.921

**Coordinate geografiche**

Località:

Longitudine  Latitudine

**Parametri per le forme spettrali**

	Pver	Tr	ag [g]	Fo	T*c
SLO	81	60	0.057	2.530	0.250
SLD	63	101	0.070	2.520	0.270
SLV	10	949	0.166	2.380	0.300
SLC	5	1950	0.208	2.390	0.310

**Periodo di riferimento per l'azione sismica**

Vita Vn [anni]	Coefficiente uso Cu	Periodo Vr [anni]	Livello di sicurezza
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>

☐ Rimuovi limiti Vr e Tr (di norma NC)

Nota: per il calcolo dei parametri sismici  
1) inserire le coordinate geografiche 2) introdurre Vn e Cu

Per le isole è possibile utilizzare come località: gruppo isole N [con N = 1,2,3,4,5]

Coordinate geografiche del Ponte Frigido sul Lungomare Vespucci 54100 Massa MS  
44.004295 Nord, 10.104828 Est .

**Passo 1**

Classe d'uso

☐ I edifici di minor importanza per la sicurezza pubblica [edifici agricoli...]

☐ II edifici ordinari

☐ III edifici importanti in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (scuole, teatri...)

☒ IV edifici la cui funzionalità ha importanza fondamentale per la protezione civile (ospedali, municipi...)

Osservazioni:

Pericolosità e zonazione

pericolosità sismica

☐ Modalità di progettazione semplificata per zona 4

Strutture esistenti

☒ LC1: conoscenza limitata

☐ LC2: conoscenza adeguata

☐ LC3: conoscenza accurata

Fattore di confidenza FC: 1.35

S (oriz.)

Sv (vert.)

< Indietro   Avanti >   Annulla   Aggiorna

**Passo 2**

Categoria di suolo di fondazione

☐ A formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi

☐ B depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti

☒ C depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza

☐ D depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente

☐ E profili di terreno costituiti da stati superficiali alluvionali

Categoria topografica

☒ T1

☐ T2 in sommità al pendio

☐ T3 in cresta al rilievo con moderata pendenza

☐ T4 in cresta al rilievo

100 quota relativa (%)

Analisi dello smorzamento

5 smorzamento (%) del suolo

S (oriz.)

Sv (vert.)

< Indietro   Avanti >   Annulla   Aggiorna

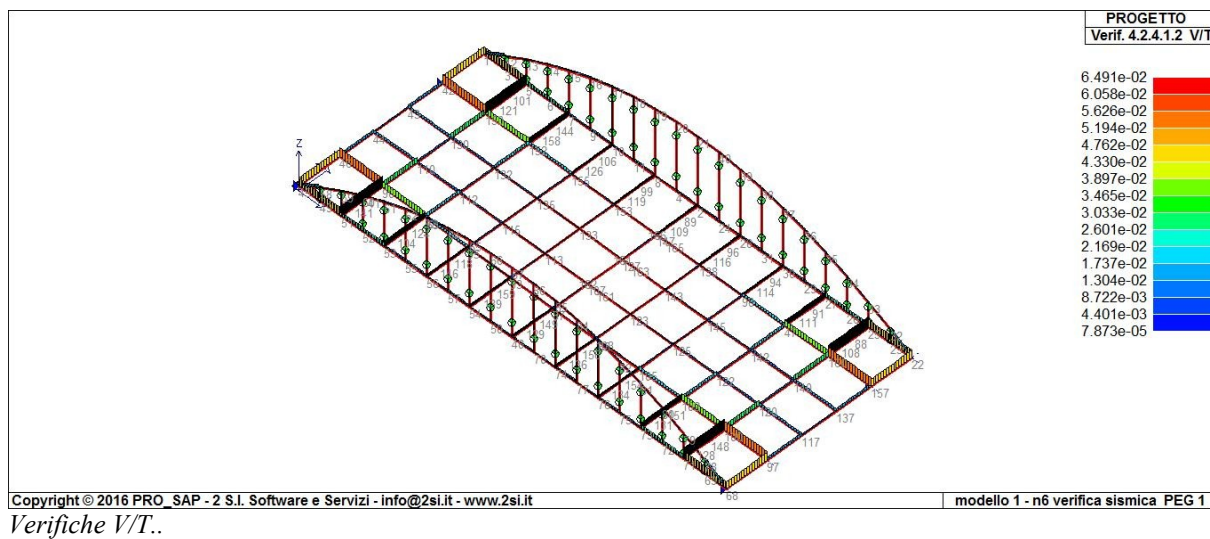
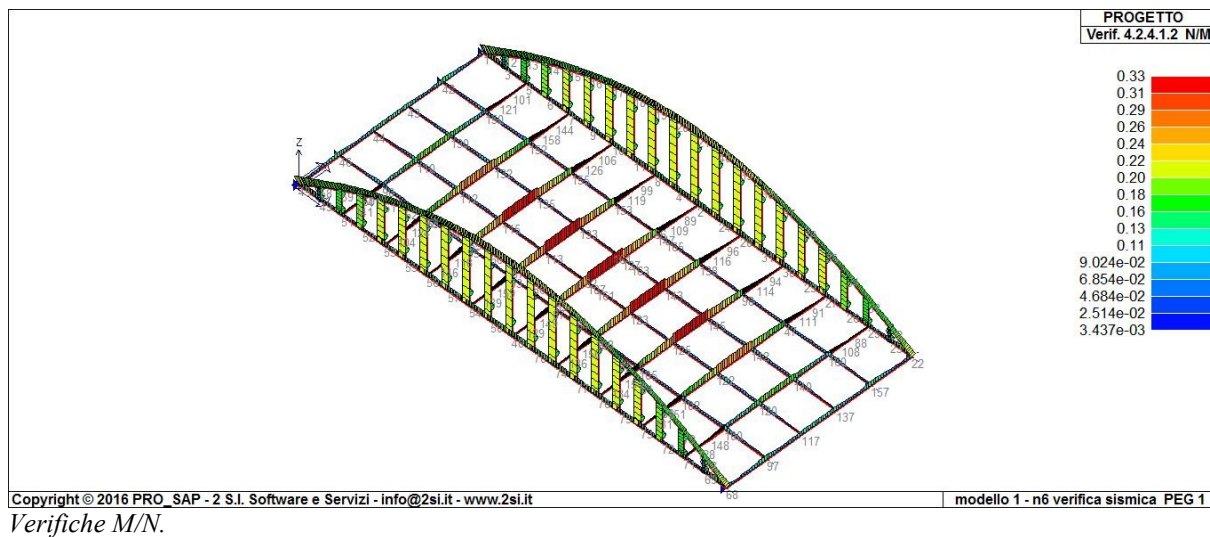
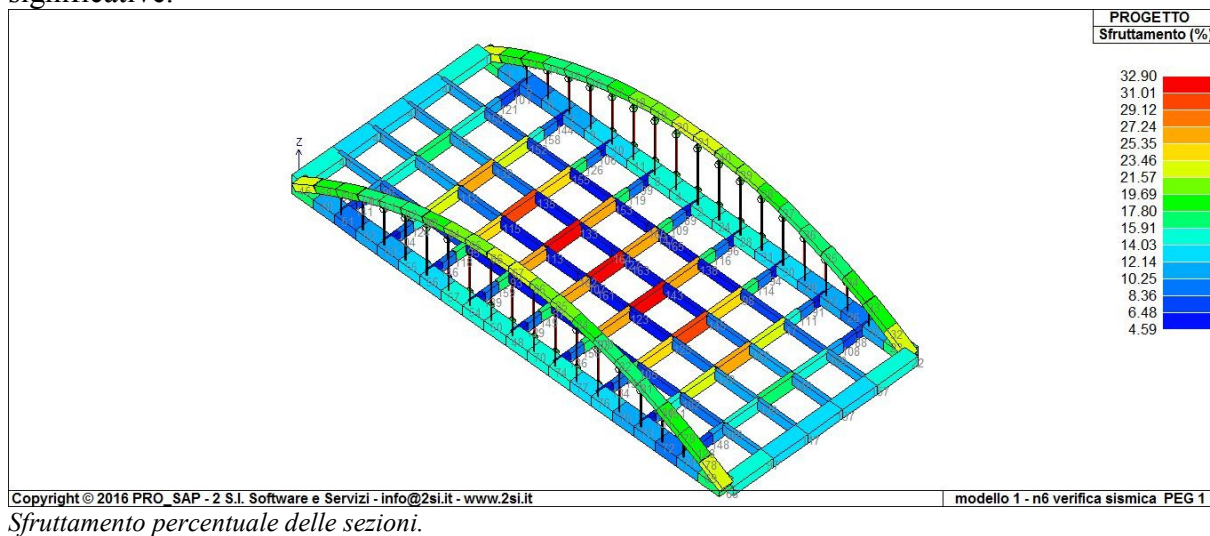
## VERIFICA SISMICA AGLI SLU:

Sulla base dei risultati dell'Analisi Globale del Modello, secondo le combinazioni dei casi di carico considerati, vengono condotte le verifiche degli spostamenti massimi agli Stati Limite Ultimi previsti dalla Norma.

In tutte le Combinazioni le Prestazioni minime richieste dalla Normativa sono state ampiamente soddisfatte.

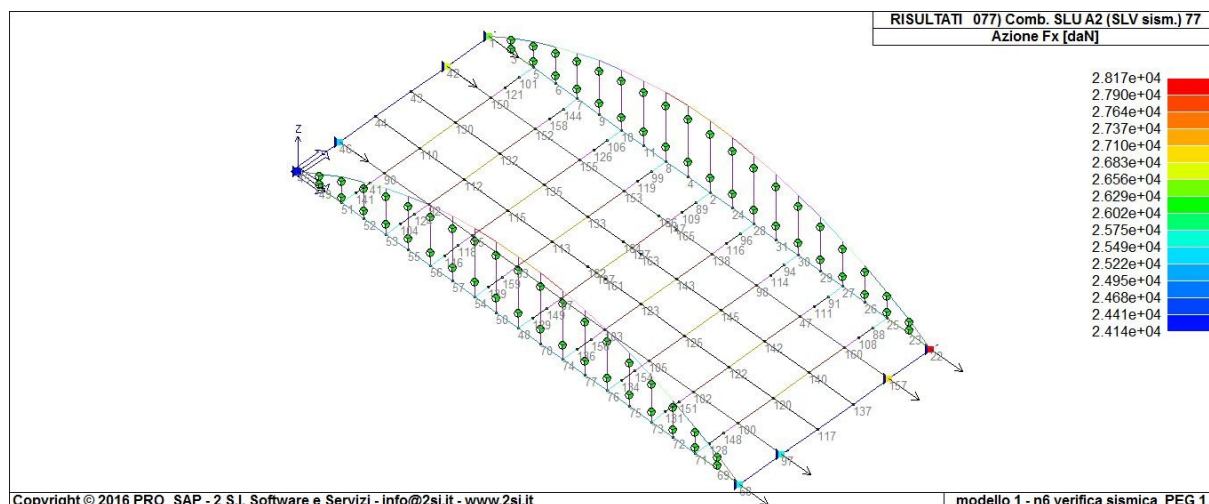
Di seguito riportiamo alcune immagini prodotte dal postprocessore grafico che illustrano chiaramente gli stati tensionali e deformativi della struttura nelle combinazioni di carico più

significative.

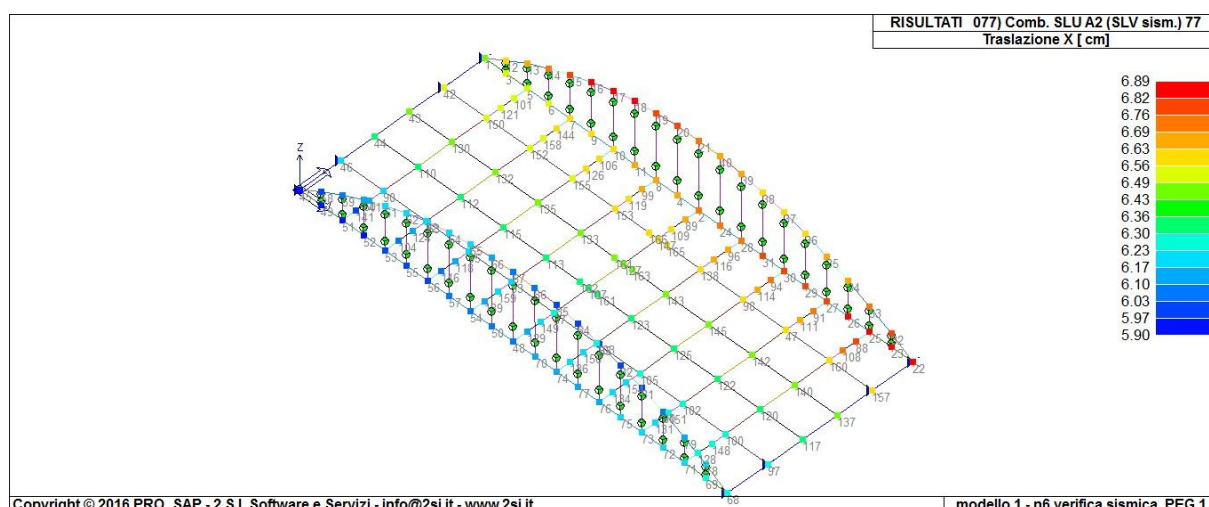


Per quanto riguarda la trasmissione delle azioni sismiche alla spalla di appoggio del ponte si

individua la combinazione sismica più gravosa in direzione X cioè in direzione ortogonale alla spalla (Cmb 77 SLU A" SLV), in quanto date le proporzioni della stessa l'azione in direzione Y non ha significato pratico. Di seguito riportiamo le reazioni e gli spostamenti massimi relativi a questa combinazione:

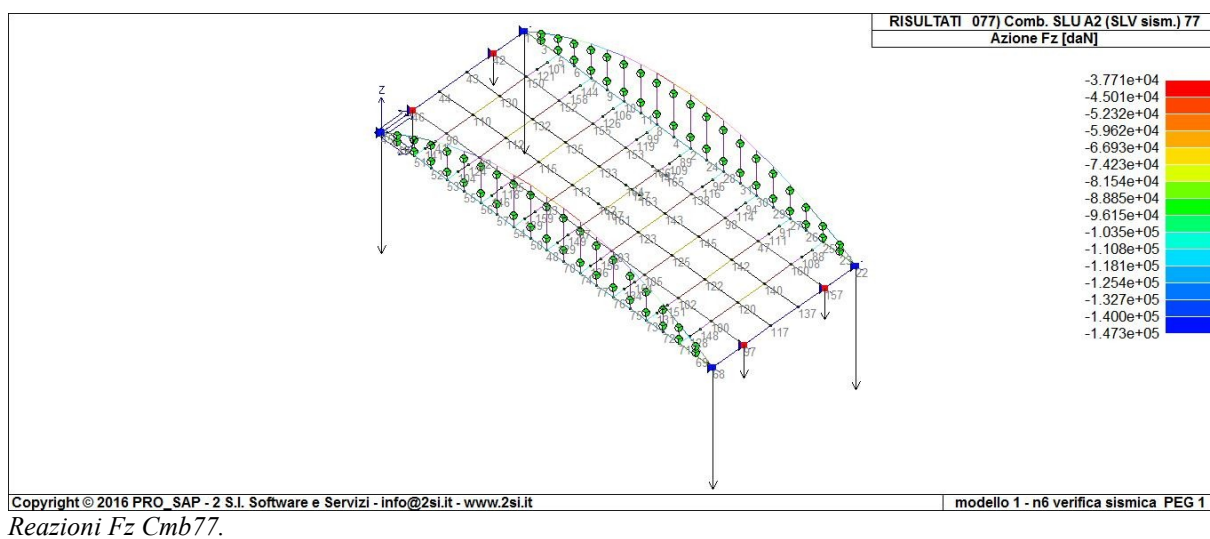
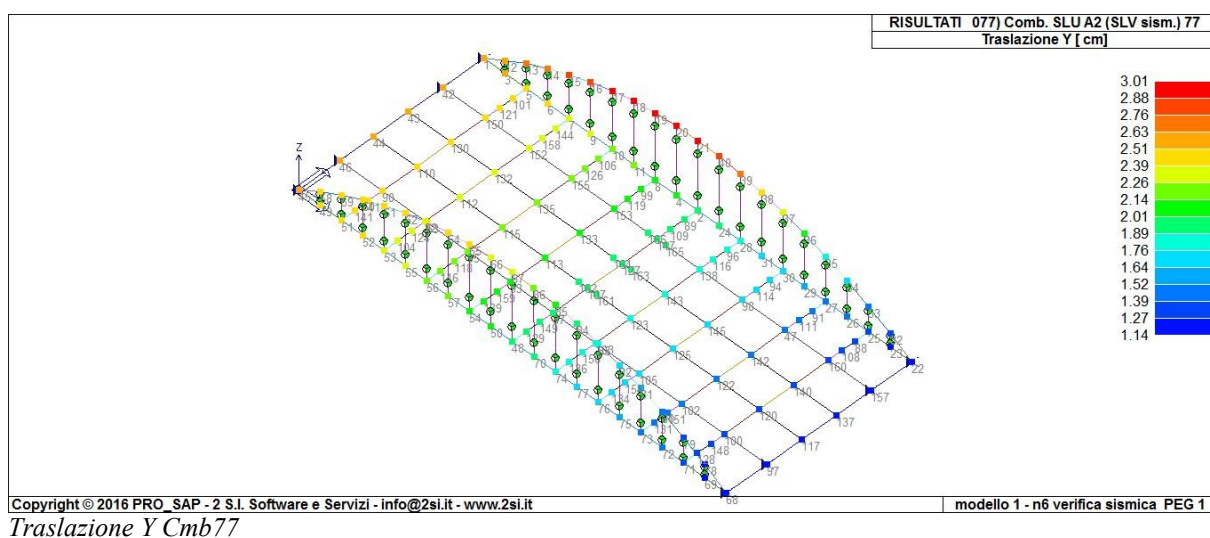
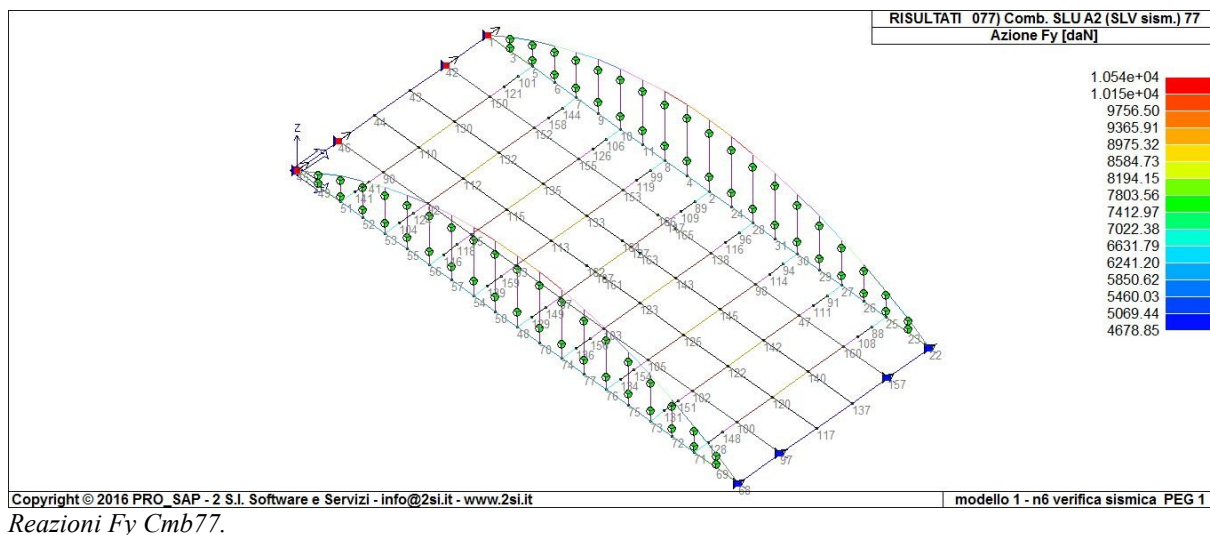


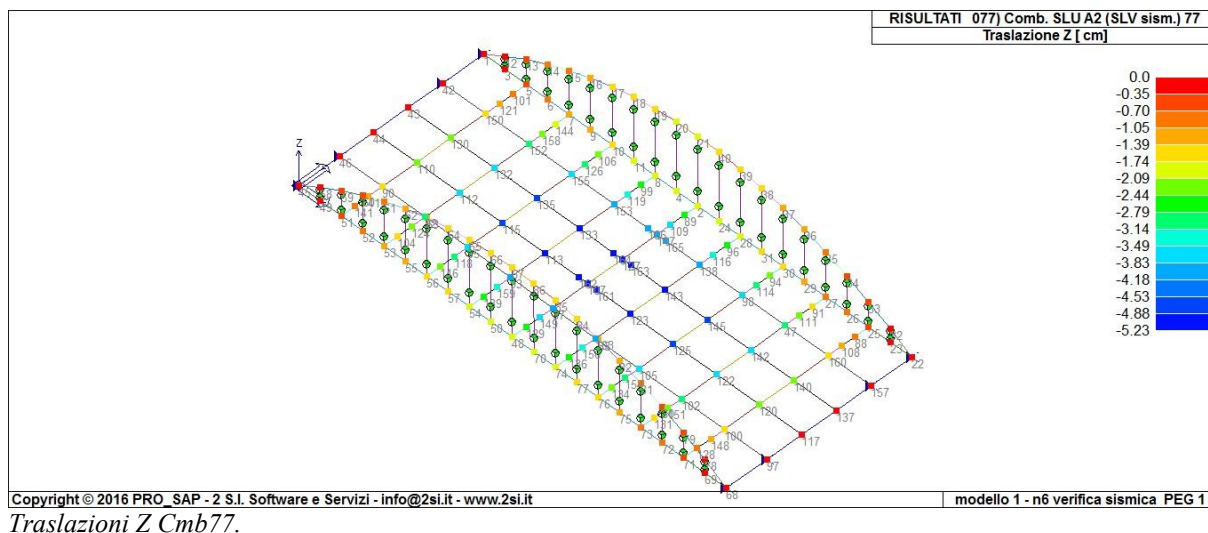
Reazione Fx massime. Cmb 77.



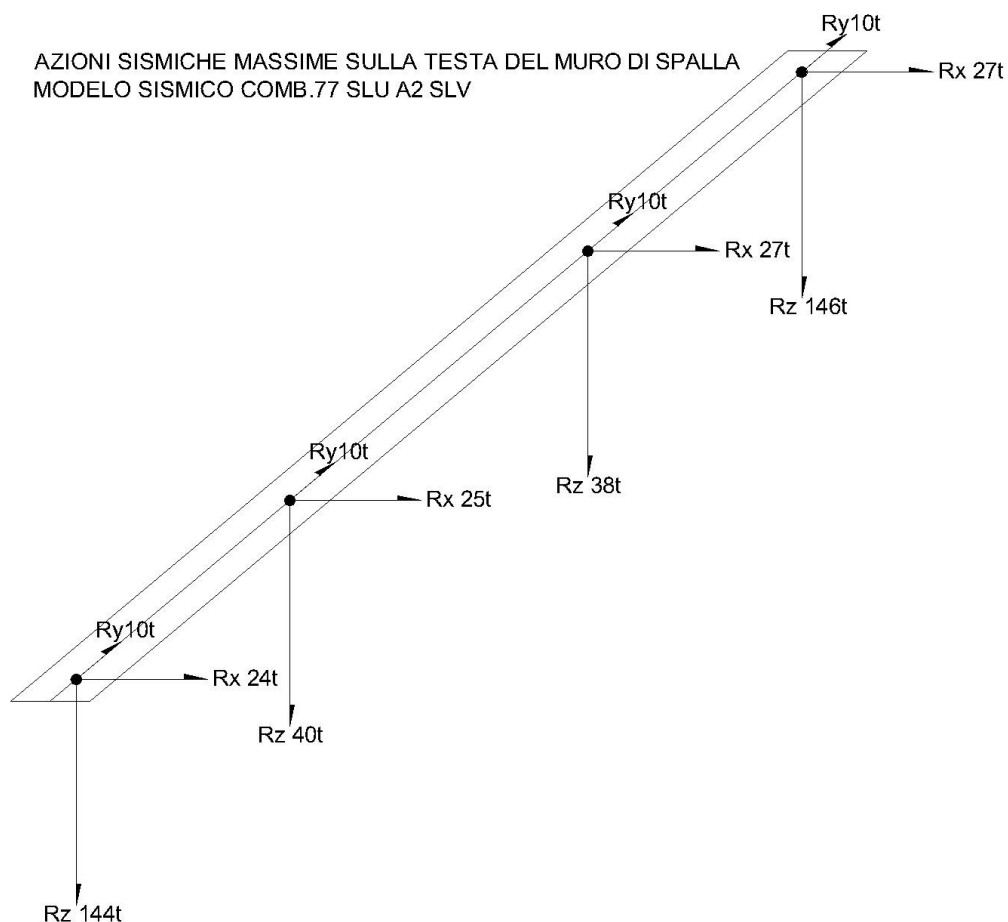
Traslazione X massime. Cmb 77.







In definitiva la spalla di appoggio dovrà sopportare in condizioni sismiche la seguente combinazione di azioni trasmesse dalla sovrastruttura agli apparecchi di appoggio, e tali azioni saranno utilizzate nelle verifiche della spalla di appoggio contenute nella relazione dedicata.



## **CONCLUSIONI.**

Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

Gli spostamenti massimi in direzione X e Y risultano compatibili con quelli massimi consentiti dagli appoggi elastomerici in gomma armata di progetto.

In fede il Progettista delle Strutture

Dot.Ing. Paolo Edoardo Giusti

A circular professional stamp in purple ink. The text inside the stamp reads: "INGEGNERI DELLA PROV. DI MASSA" around the top edge, "Dott Ing PAOLO EDOARDO GIUSTI" in the center, and "N° 387" below the name. A handwritten signature in blue ink, "Paolo Edoardo Giusti", is written across the bottom of the stamp.

## **Sommario**

RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELL'OPERA:.....	2
NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
MATERIALI STRUTTURALI.....	5
MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA:.....	6
AZIONI PREVISTE SULLA STRUTTURA.....	6
VERIFICHE DEL TRASVERSO.....	12
VERIFICHE DELLA TRAVE IRRIGIDENTE.....	20
VERIFICHE DELL'ARCO.....	25
VERIFICHE LOCALI SOLETTA C.A. ....	29
VERIFICA LOCALE PASSERELLA PEDONALE.....	33
VERIFICA SISMICA.....	37
CONCLUSIONI.....	43