

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO**

**U.O. STRUTTURE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO**

**SOTTOPROGETTO 2 - ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE**

**LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE**

**PONTE SUL FIUME OFANTO PK 0+389**

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

SCALA:

-
---

COMMESSA   LOTTO   FASE   ENTE   TIPO DOC.   OPERA/DISCIPLINA   PROGR.   REV.

IA0X   02   D   09   RH   VI0500   001   A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	D. Guerri <i>D. Guerri</i>	Febbraio 2015	R. Di Nucci <i>R. Di Nucci</i>	Febbraio 2015	G. Lestingi <i>G. Lestingi</i>	Febbraio 2015	Angelo Vitozzi <i>Angelo Vitozzi</i>	Febbraio 2015

Ordine di ing. ANGELO VITTOZZI  
 Ingegnere della Provincia di Roma  
 n. A20783  
 U.O. STRUTTURE  
 ITALFERR S.p.A.

File:IA0X02D09RHVI0500001A.doc

n. Elab.:

L2.135

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	GEOMETRIA DELL'OPERA .....	5
3	CAMPAGNA DI INDAGINI CONOSCITIVE .....	10
4	DOCUMENTI CORRELATI.....	10
5	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	10
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	11
7	ANALISI DEI CARICHI .....	15
7.1	PESI PROPRI E PERMANENTI PORTATI .....	15
7.2	TRENI DI CARICO .....	16
7.3	COEFFICIENTE DINAMICO .....	20
7.4	FRENATURA E AVVIAMENTO.....	20
7.5	VENTO.....	22
8	COMBINAZIONI DI CARICO .....	24
9	SIMBOLOGIA E CONVENZIONI .....	25
10	MODELLI DI CALCOLO .....	26
10.1	ELEMENTI DELLA MESH.....	26
10.2	VINCOLI.....	27
10.3	LEGAMI COSTITUTIVI MATERIALI .....	28
	10.3.1 Arcata e pila non lineare .....	29
	10.3.2 Multi Crack Concrete (Model 102).....	30
	10.3.3 Interazione terreno – struttura .....	37
11	ANALISI 3D NON LINEARI.....	38
	11.1.1 Treno D4 in pos. T1.....	39
	11.1.2 Treno D4 in pos. T2.....	44



**LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE**

**PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
IA0X 02 D 09 RH VI0500 001 A 3 di 78

11.1.3	Treno D4 in pos. T3.....	49
11.1.4	Treno D4 in pos. T4.....	54
11.1.5	Treno D4 in pos. T5.....	59
11.1.6	Vento a ponte scarico .....	64
11.1.7	Frenatura .....	67
11.1.8	Pressioni sul terreno.....	72
11.1.9	Verifica geotecnica fondazione .....	74
11.1.10	Analisi critica risultati.....	77
12	CONCLUSIONI.....	78



LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE

PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO
IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	4 di 78

## 1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la verifica strutturale del Ponte sul Fiume Ofanto al km 0+389 della tratta Rocchetta – San Nicola di Melfi.

Viene analizzato il ponte soggetto ai carichi della normativa attuale, nello specifico il peso proprio, il treno di progetto, la frenatura/avviamento e il vento. Vengono trascurate, poiché ininfluenti, le azioni relative al serpeggio e alla forza centrifuga.

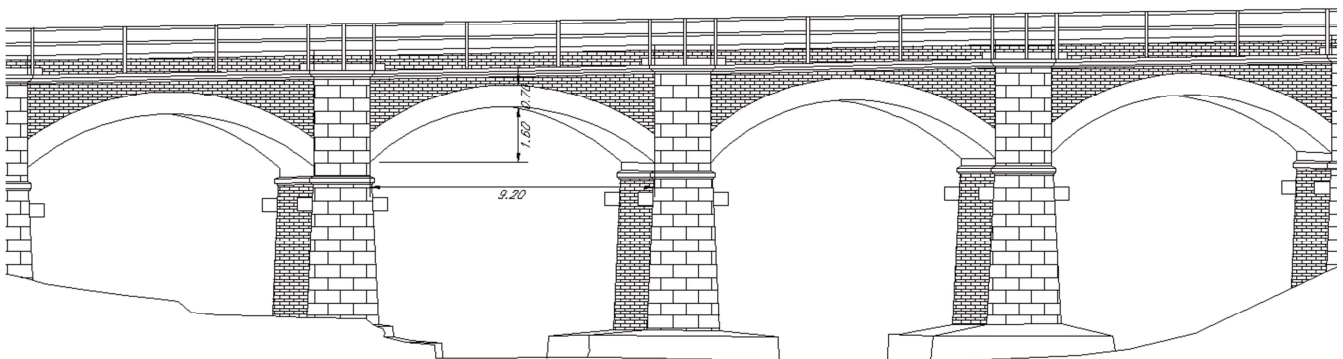
Il ponte, nella precedente configurazione, prevedeva il passaggio del treno reale C3 con una velocità di 110 km/h. Nell'ambito del progetto attuale, sul ponte è prevista solo la riclassificazione della linea, pertanto il futuro treno di progetto è il treno reale D4 con la stessa velocità di prima.

E' importante sottolineare che il ponte, nella precedente configurazione, alloggiava un doppio binario, mentre nell'ambito del progetto attuale, è prevista la rimozione di un binario, nella fattispecie quello interno curva.

Nella presente relazione è esclusa la valutazione della capacità portante della struttura alle azioni sismiche.

## 2 GEOMETRIA DELL'OPERA

Il ponte in questione, che alloggerà nella configurazione futura un singolo binario, è costituito da 7 campate ad archi circolari di luce in asse pila pari a 10.85m. Le arcate sono in muratura di mattoni con spessore medio 0.70m, luce netta misurata alle imposte di 9.20m e freccia 1.60m, con un valore del ribassamento pari a  $1.6/9.2=0.17$  (arcate ribassate).



L'andamento planimetrico del ponte è curvilineo con raggio di curvatura in asse al ponte di 245m circa. Lo sviluppo totale è di 75m circa.

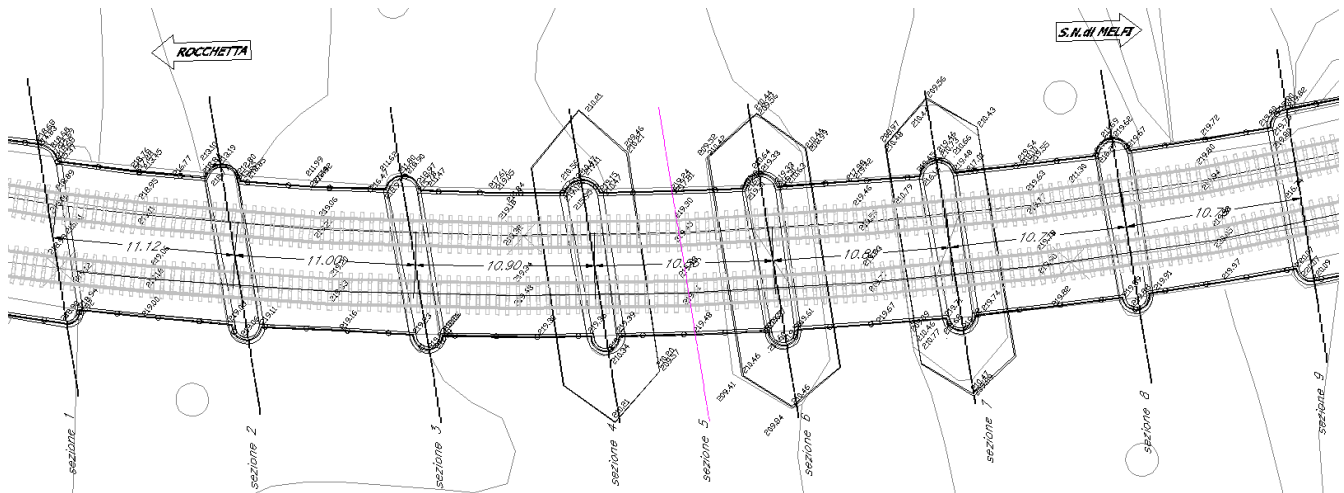
La larghezza totale del ponte è di 8.70m. Le pile sono in muratura di mattoni con sezione tronco conica a base rettangolare, di dimensioni medie 2.77x10.90m alla base. Ai fini del calcolo, le pile sono state considerate tutte di altezza uguale e pari al valore massimo di 8.0m.

Sopra l'estradosso delle arcate in chiave, è presente il riempimento in materiale sciolto e ballast, per uno spessore totale di 70cm. Ai lati del ponte sono presenti due timpani in mattoni spessi circa 70cm.

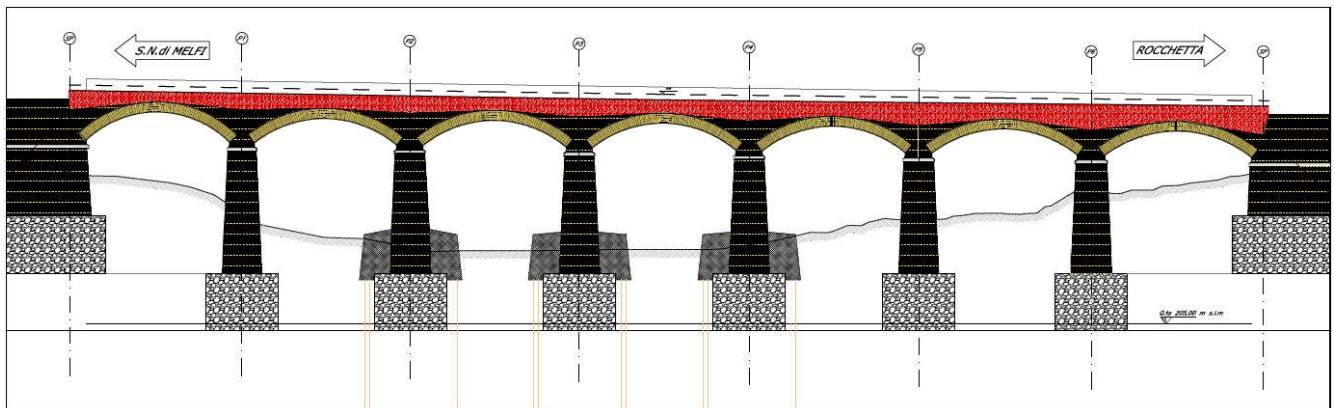
Le fondazioni sono di tipo diretto. L'altezza del plinto è pari a 3.70m. Ai fini del calcolo, è stato ipotizzato uno sbalzo di 50cm in direzione longitudinale ed uno di 1m in direzione trasversale.

Si riportano alcune immagini e foto significative del ponte in esame.

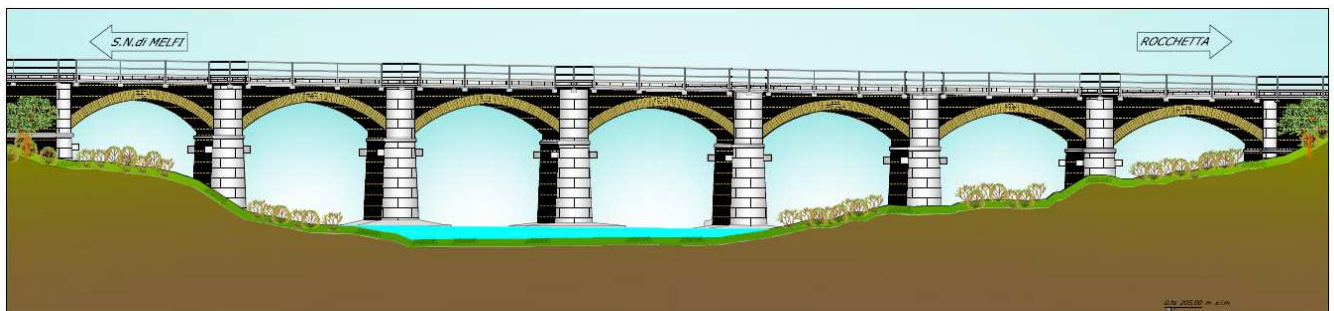
PIANTA IMPALCATO



SEZIONE LONGITUDINALE

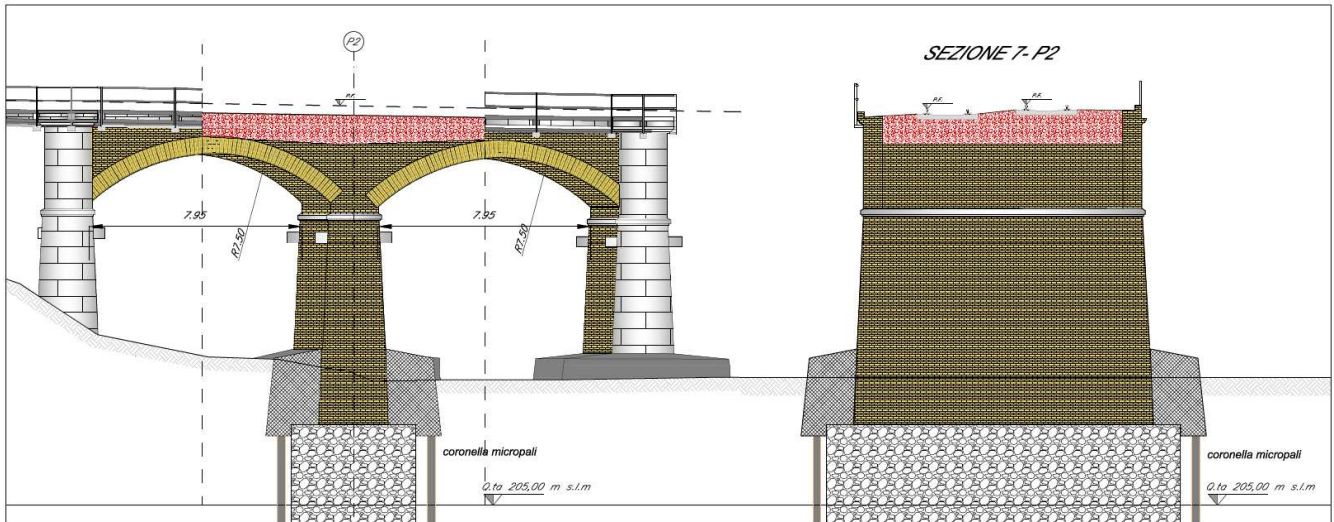


PROSPETTO

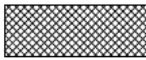
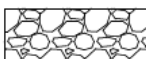

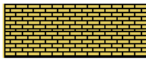



*SEZ. LONGITUDINALE PILA 2*  
Scala 1:100

*SEZ. TRASVERSALE PILA 2*  
Scala 1:100




*TABELLA CAMPITURE*

	<b>conglomerato cementizio sistemazione idraulica</b>
	<b>conglomerato cementizio con inerti di dimensione centimetrica di calcare</b>
	<b>pietra naturale squadrata in calcare</b>
	<b>muratura in mattoncini di laterizio e malta cementizia</b>
	<b>riempimento in ghiaia sciolta e ballast</b>







	<b>LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – ELETRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>																		
<b>PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>COD.</th> <th>DOC.</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA0X</td> <td>02</td> <td>D</td> <td>09</td> <td>RH</td> <td>VI0500</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>10 di 78</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	10 di 78
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	10 di 78											

### 3 CAMPAGNA DI INDAGINI CONOSCITIVE

Per la campagna di indagini conoscitive si rimanda a [C2].

### 4 DOCUMENTI CORRELATI

- [C1] **IA0X-00-D-09-PR-VI0000-001-A.pdf:** *Linea Foggia – Potenza. Intervento sui ponti ferroviari esistenti per riqualifica della linea: Prove di laboratorio;*
- [C2] **IA0X-02-D-09-RH-VI0000-001-A.pdf:** *Linea Foggia – Potenza; Sottoprogetto 2; Lotto 2: Relazione descrittiva della campagna di indagini condotta sui ponti esistenti in muratura;*

### 5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [N1] **D.M. del 14 Gennaio 2008:** *Nuove norme tecniche per le costruzioni;*
- [N2] **C.M. 02/02/2009 n.617:** *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";*
- [N3] **RFI DTC INC PO SP IFS 001 A:** *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;*
- [N4] **RFI DIN ICI LG IFS 001 A:** *Linea guida per la verifica strutturale dei ponti ad arco in muratura;*
- [N5] Contratto tra ferrovie dello stato e DISEG - dipartimento di ingegneria strutturale e geotecnica dell'università di Genova del 26 marzo 2001 per lo studio metodologico e software della capacità portante dei ponti ad arco in muratura: **Manuale;**

## 6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per quanto riguarda il Livello di Conoscenza LC e il conseguente Fattore di Confidenza FC definiti al punto 8.5.4 di [N1] e al punto C8A.1.A.4 di [N2], si è assunto un Livello di conoscenza LC3 e il Fattore di confidenza FC=1. Tale scelta è giustificata dalla disponibilità del rilievo geometrico, dalle verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi e soprattutto dalle numerose indagini in situ ed in laboratorio effettuate per valutare le caratteristiche dei materiali.

Si riporta uno stralcio della normativa.

- il livello di conoscenza LC3 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è FC=1;
- Indagini in-situ esaustive: servono per ottenere informazioni quantitative sulla resistenza del materiale. In aggiunta alle verifiche visive, ai saggi interni ed alle prove di cui ai punti precedenti, si effettua una ulteriore serie di prove sperimentali che, per numero e qualità, siano tali da consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura. La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante esecuzione di prove, in situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio). Le prove possono in generale comprendere prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio. Metodi di prova non distruttivi possono essere impiegati in combinazione, ma non in completa sostituzione di quelli sopra descritti. Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona. Le Regioni potranno, tenendo conto delle specificità costruttive del proprio territorio, definire zone omogenee a cui riferirsi a tal fine.

Nella tabella seguente vengono riportate le principali caratteristiche meccaniche dei materiali.

OFANTO			
Livello di conoscenza	LC3		
Fattore di confidenza	FC	1	
MURATURA: arcate e pile			
Resistenza caratteristica a compressione	$f_k$	5.80 MPa	da provini (nota 1)
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_M$	3 -	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_d=f_k/\gamma_M$	1.93 MPa	formule normativa
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{td}$	0.2 MPa	ipotizzato
Modulo elastico normale secante	$E_m$	5 800 MPa	$1000 \cdot f_k$ formule normativa
Modulo elastico tangenziale secante	$G_m$	2 320 MPa	$0.4 \cdot E_m$ formule normativa
Coefficiente di Poisson	$\nu$	0.25 -	$(E_m/2G) - 1$
RIEMPIMENTO			
Modulo elastico normale secante	$E_r$	120 MPa	ipotizzato
PESI			
arcate: mattoni	$\gamma$	18 kN/mc	da provini
timpani: mattoni	$\gamma$	18 kN/mc	da provini
pila: peso equivalente a pila piena	$\gamma$	21 kN/mc	da provini
riempimento: materiale sciolto	$\gamma$	20 kN/mc	da provini
fondazioni: prevalenza di pietra e malta	$\gamma$	23 kN/mc	da provini

Ai fini del calcolo della capacità portante della struttura, sono state assunte le seguenti ipotesi:

- La resistenza a trazione è stata sempre ipotizzata pari ad un valore molto basso (0.2 MPa) dal momento che non è un parametro sul quale si vuol fare affidamento.
- Al fine di escludere il riempimento dal meccanismo resistente del ponte, il suo modulo viene assunto pari a 1/50 di quello degli altri elementi resistenti.
- In favore di sicurezza, anche i timpani e l'eventuale rinfiacco presente sono stati esclusi dal meccanismo resistente, assegnando ad essi lo stesso modulo elastico del riempimento.

Nella tabella seguente viene riportata una sintesi dei risultati delle prove di laboratorio effettuate sulle murature. Tale tabella è stata estratta dal documento [C1].

SOND.		CAMP.	Prof.	STATO DEL CAMP.	PESO DI VOLUME APP. $\gamma$ Mg/m <sup>3</sup>	CONTEN. D'ACQUA W %	COMPR. Sforzi $\sigma_c$ N/mm <sup>2</sup>	PARAM. DINAMICI Vel. Ultra Vp m/s	Vel. Ultra Vs m/s	Sforzi $\sigma_c$ N/mm <sup>2</sup>	COMPRESSIONE STRUMENTATA C.Poisson v /	E.Tang. E Sec. KN/mm <sup>2</sup>	BRASILIANA TRAZ. INDIRETTA UN PROVINO R <sub>t</sub> KPa	TRIASSIALE SU ROCCIA C.Poisson v /	Es. Tang. Es. Sec. kN/mm <sup>2</sup>	RUGOS. J.R.C. /	SLAKE DURABILITY TEST Id2 %	BRASILIANA Valore Medio kPa	Deviaz. Standard kPa	Coeff. di Variaz. /
R3	A	0.40 0.64	IN	1.687					12.67	*	0.285 m	7.52 6.76								
R3	B	1.70 1.93	IN	1.891			9.31 *													
R4	A	0.50 0.71	IN	1.835					26.53	*	0.325 r	14.49 43.02								
R4	B	0.90 1.24	IN	1.812			9.73 *													
R6	A	2.54 2.79	IN	1.574					13.41	*	n.d. m	22.79 25.36								
R6	B	3.35 3.60	IN	1.877			12.26 *													
R7	A	0.46 0.66	IN	1.580					10.28	*	0.275 r	8.03 13.41								
R7	B	2.25 2.45	IN-P	1.819			7.62 *													

LEGENDA: **ROCCE e OPERE MURARIE**  
 IN = INTATTO  
 F = FRATTURATO  
 P = PIANI DI ROTTURA PREFERENZIALE (LINEE DI DEBOLEZZA)  
 D = DEBOLMENTE CEMENTATA

n.d. = parametro non determinabile e/o non attendibile  
 \* = provino ricarotato  
 m = valore di Poisson a metà della rottura  
 r = valore di Poisson a rottura

### Nota 1: Muratura arco e pila in mattoni – procedura di calcolo della resistenza caratteristica a compressione

Da un controllo visivo dell'opera, si vede come i mattoni utilizzati per l'arcata siano gli stessi di quelli della pila. Pertanto le resistenze ottenute in laboratorio di tutti i mattoni sono state utilizzate al fine di definire un'unica resistenza caratteristica del mattone.

#### Resistenza a compressione degli elementi resistenti artificiali o naturali

##### Istruzioni NTC 08 - C11.10.1.1

##### Resistenza caratteristica a compressione degli elementi nella direzione dei carichi verticali

n° provino resistenza a compressione

-  $f_c$  (MPa)

1	12.67	Numero provini testati	n° provini	4
2	26.53	Resistenza a compressione media	fbm	15.7 MPa
3	13.41	Scarto quadratico medio	s	7.3 MPa
4	10.28	Coefficiente di variazione	$\delta = s/fbm$	0.47 > 0.2 non accettabile!!!
5		Resistenza a compressione caratteristica	$fbk = fbm(1 - 1.64 \cdot \delta)$	3.7 MPa

I risultati dei provini offrono valori molto dispersi, pertanto il criterio fornito dalla normativa per gli elementi artificiali non è utilizzabile in quanto il coefficiente di variazione  $\delta$  è  $>0.2$ .

Si è scelto quindi di utilizzare il criterio valido per le pietre naturali.

### Muratura costituita da elementi naturali (pietra)

#### Resistenza convenzionale a compressione dell'elemento (pietra)

#### NTC 08 - 11.10.3.1.2

n° provino	resistenza a compressione			
-	$f_c$ (MPa)			
1	12.67			
2	26.53	Resistenza a compressione media	$f_m$	15.7 MPa
3	13.41	Resistenza a compressione caratteristica	$f_k=0.75*f_m$	11.8 MPa
4	10.28			

Interpolando la resistenza caratteristica del mattone/pietra con quella della malta si ottiene la resistenza caratteristica del complesso murario.

### Stima della resistenza a compressione della muratura (complesso murario)

Si procede all'interpolazione lineare tra i valori riportati nella seguente tabella

Tabella 11.10.V - Valori di  $f_k$  per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (valori in  $N/mm^2$ )

Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento $N/mm^2$	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	--

Tabella 11.10.VI- Valori di  $f_k$  per murature in elementi naturali di pietra squadrata (valori in  $N/mm^2$ )

La tabella 11.10.VI cambia solo i valori per  $f_{bk}=2.0$ , e prevede 1.0 al posto di 1.2

Resistenza media a compressione della malta	$M=$	10	MPa
Resistenza caratteristica a compressione dell'elemento	$f_{bk}=$	11.8	MPa
Resistenza caratteristica a compressione della muratura	$f_k=$	5.80	MPa

## 7 ANALISI DEI CARICHI

### 7.1 Pesì propri e permanenti portati

Il peso proprio della struttura viene calcolato automaticamente dal programma in quanto è stata modellata l'intera geometria e sono stati assegnati gli opportuni pesi specifici.

Il riempimento è stato modellato fino all'estradosso del ballast al fine di considerare anche il peso dell'armamento.

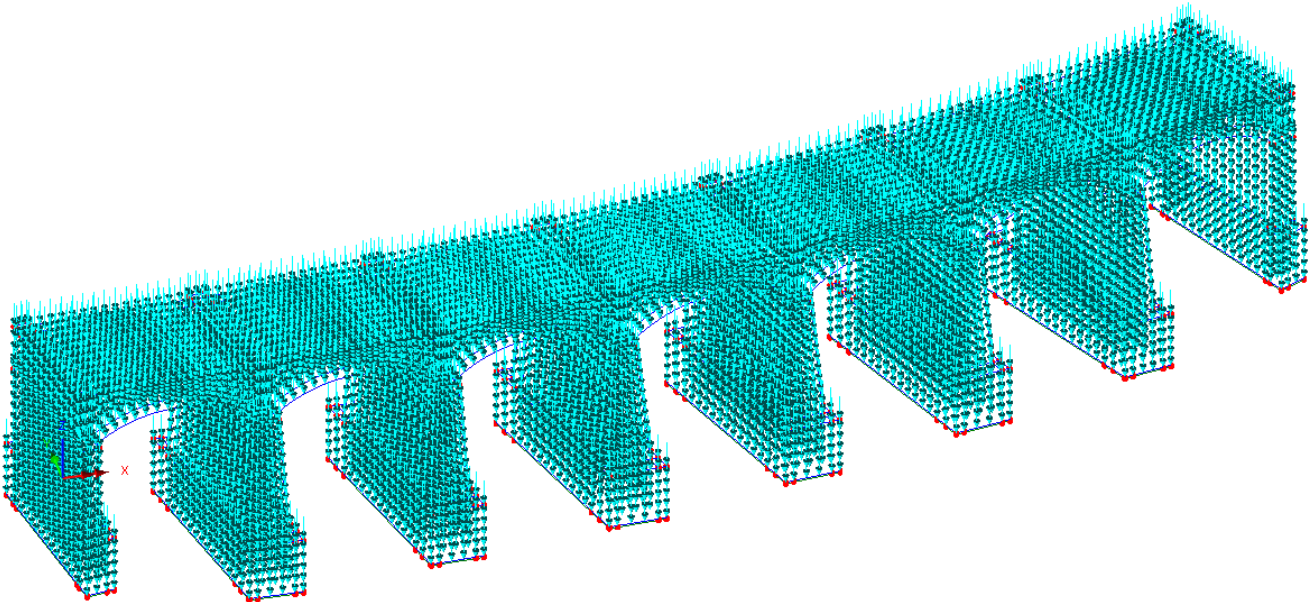


Figura 1: Applicazione pesi su modello di calcolo

## 7.2 Treni di carico

Il treno di progetto è il treno reale D4, che ha la seguente conformazione:

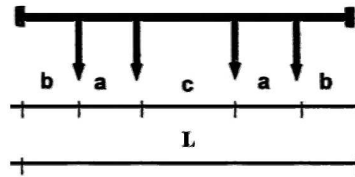


Figura 1: Schema geometrico di un carro

Tabella 3: Carri ferroviari suddivisi per categoria di linea

Categoria	Carico		a [m]	b [m]	c [m]	L [m]
	per asse P <sub>a</sub> [kN]	per ml p [kN/m]				
A	160	48	1.8	1.5	6.75	13.35
B1	180	50	1.8	1.5	7.80	14.40
B2	180	64	1.8	1.5	4.65	11.25
C2	200	64	1.8	1.5	5.90	12.50
C3	200	72	1.8	1.5	4.50	11.10
C4	200	80	1.8	1.5	3.40	10.00
D2	225	64	1.8	1.5	7.45	14.05
D3	225	72	1.8	1.5	5.90	12.50
<b>D4</b>	<b>225</b>	<b>80</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>	<b>4.65</b>	<b>11.25</b>
E4	250	80	1.8	1.5	5.9	12.50
E5	250	88	1.8	1.5	4.75	11.35

Il singolo asse viene diviso equamente sulle due rotaie e a sua volta diviso in 3 forze concentrate, con metà forza sulla traversa centrale e 1/4 su quelle adiacenti, poste a 60cm. Il singolo carro viene quindi applicato con 24 forze concentrate (vedi schema).

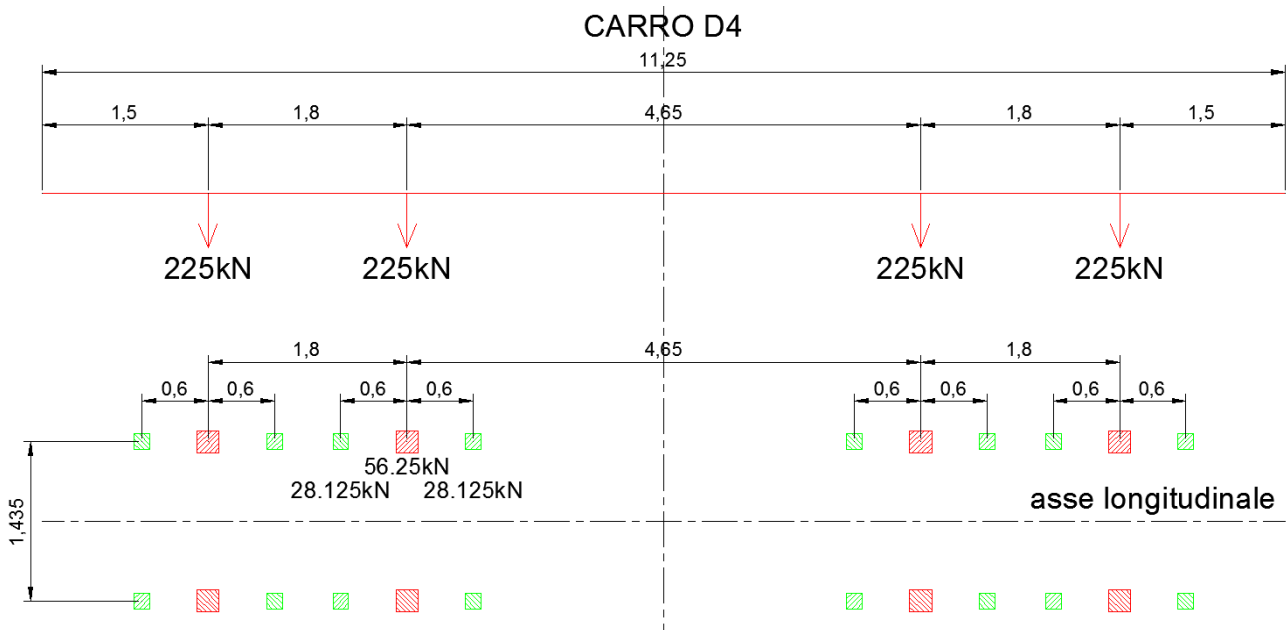
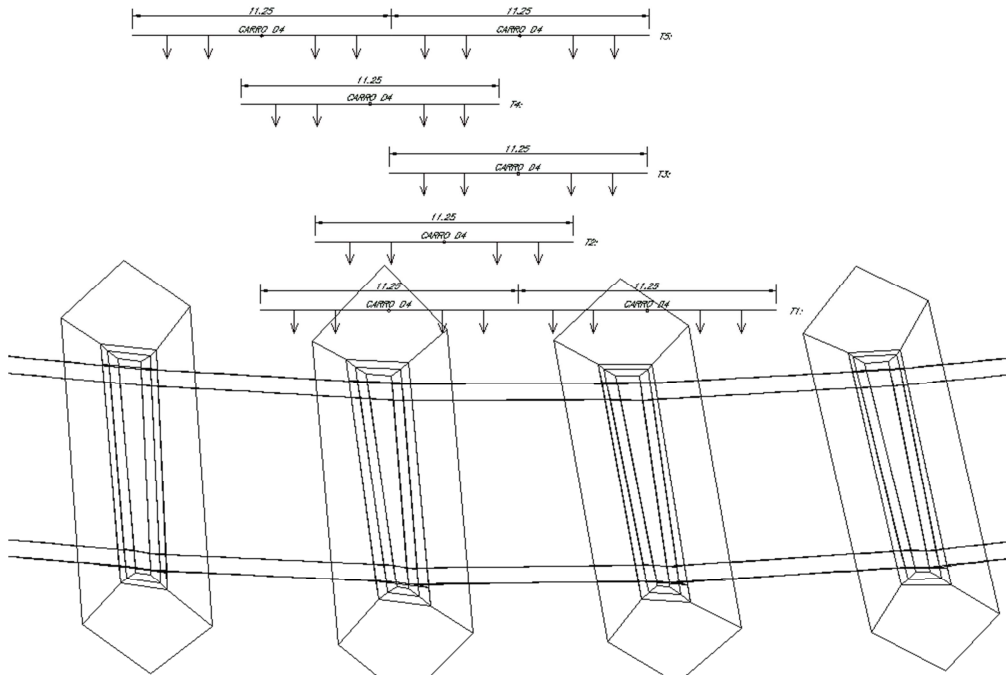


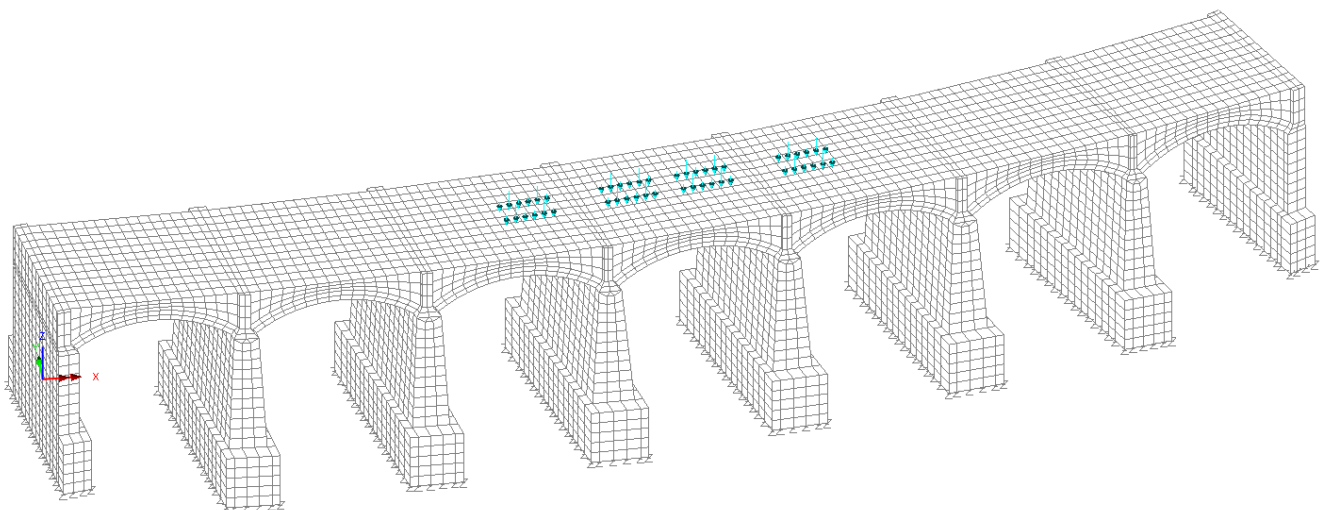
Figura 2: Schema applicazione carro D4



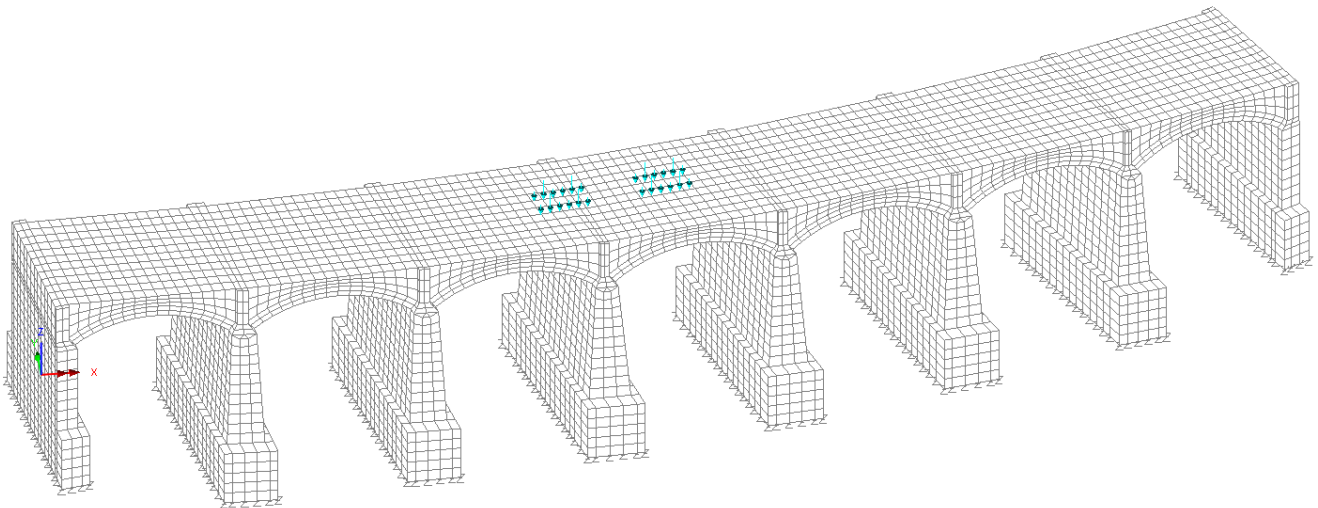
Al fine di massimizzare le tensioni sull'arcata e sulla pila, sono state individuate 5 disposizioni del treno di carico (T1,T2,T3,T4,T5).



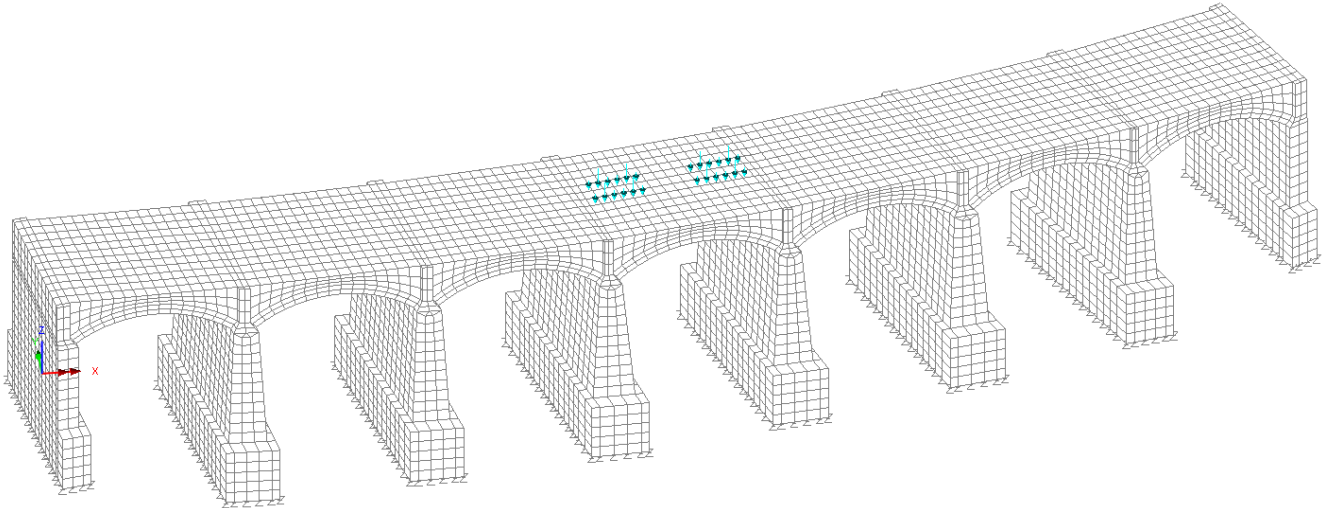
**Figura 3: Schema disposizioni treno D4**



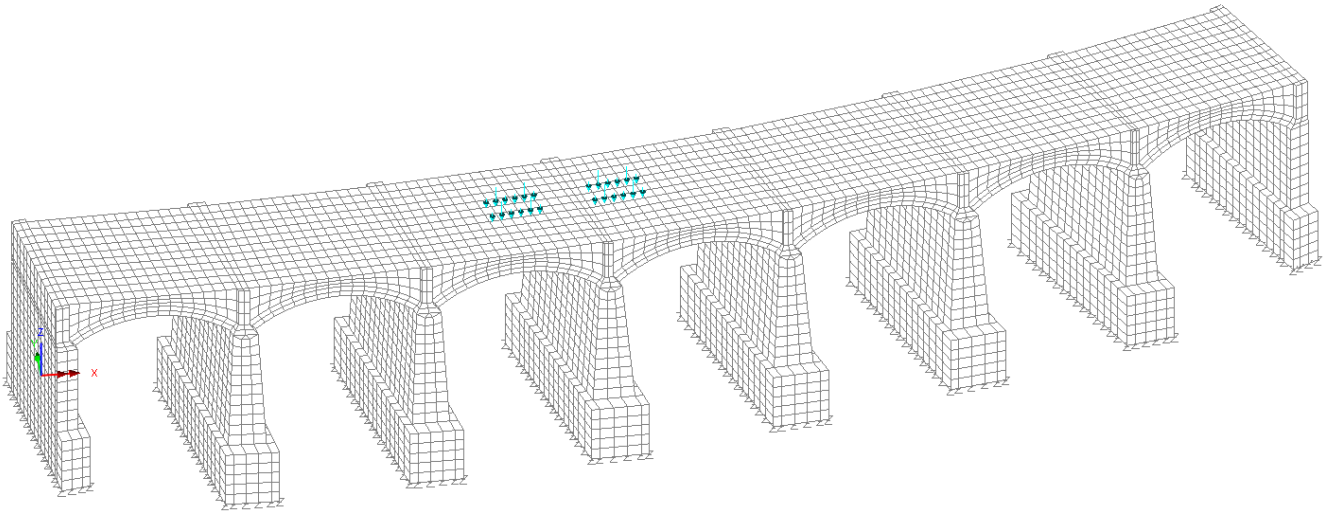
**Figura 4: treno in posizione T1 su modello di calcolo**



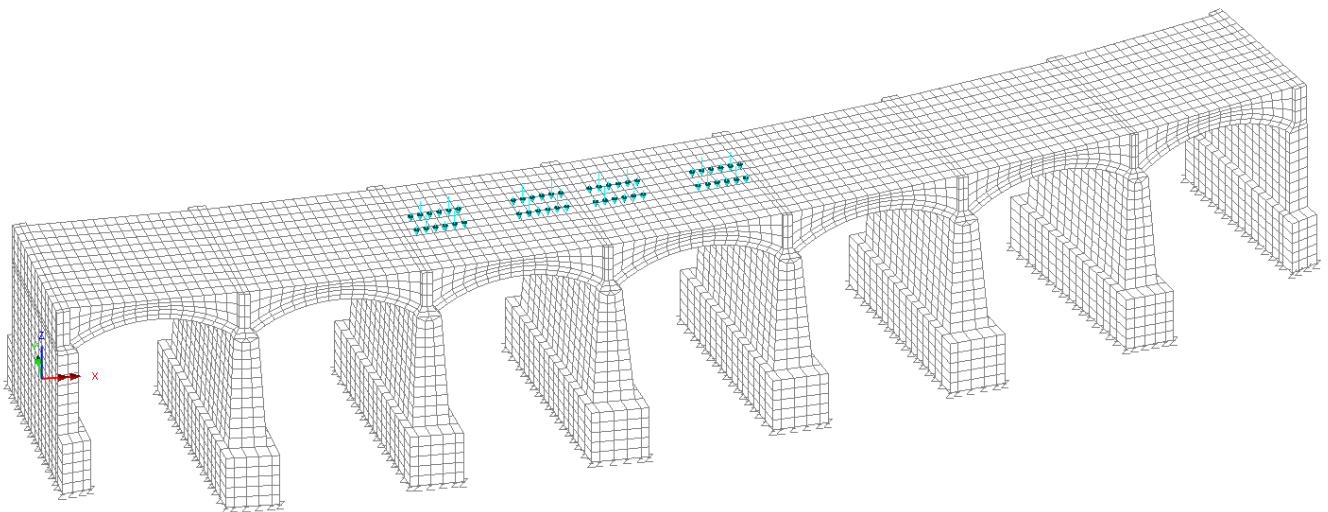
**Figura 5: treno in posizione T2 su modello di calcolo**



**Figura 6: treno in posizione T3 su modello di calcolo**



**Figura 7: treno in posizione T4 su modello di calcolo**



**Figura 8: treno in posizione T5 su modello di calcolo**

### 7.3 Coefficiente dinamico

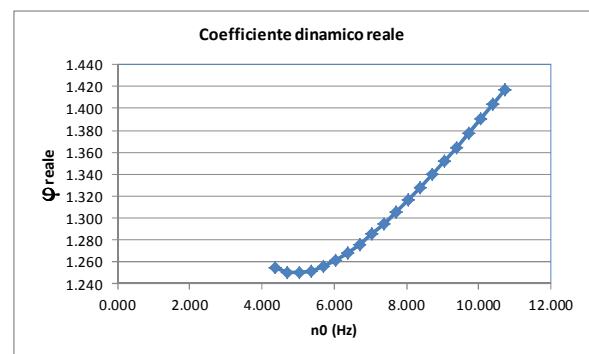
Il coefficiente dinamico è stato calcolato con le formule contenute in [N3] per i treni reali.

**SPECIFICA PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI  
E DI ALTRE OPERE MINORI SOTTO BINARIO - REV A - 21/12/11**

#### Coefficienti dinamici - punto 1.4.2.5

##### Coefficienti dinamici reali

massima velocità permessa del veicolo	v	110 km/h	30.6 m/s
lunghezza caratteristica	$L_0$	18.4 m	
coefficiente che tiene conto della velocità standard manutentivo	$\alpha$	1	
		normale	
		$n_0$ limite inf.	$n_0$ valore corrente
			$n_0$ limite sup.
prima frequenza flessionale del ponte caricato con le azioni permanenti	$n_0$	4.348	7.538
parametro	K	0.191	0.110
parametro	$\phi^1$	0.236	0.124
parametro	$\phi^{11}$	0.019	0.176
parametro	$\phi^{11*}$	0.019	0.176
coefficiente dinamico reale	$\Phi_{reale}$	1.255	1.300
	$\Phi_{reale (max)}$		1.418



Come lunghezza caratteristica è stata adottata il doppio della luce libera. Operando in favore di sicurezza, il coefficiente dinamico utilizzato ai fini del calcolo è quello più alto possibile.

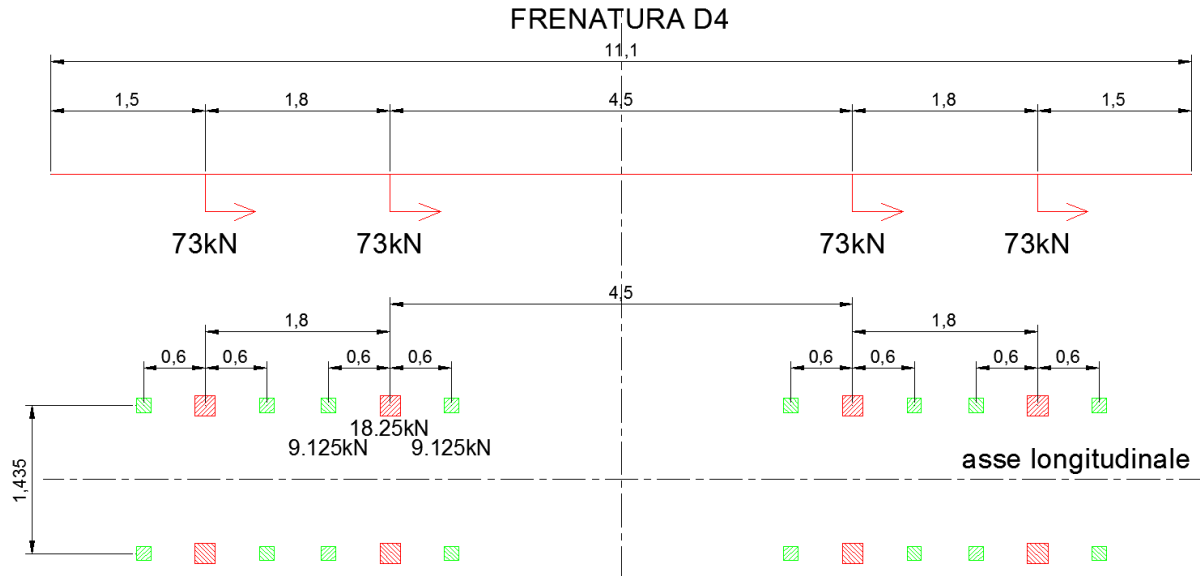
### 7.4 Frenatura e avviamento

Secondo la Legge n.54 del 1945 la forza di avviamento e di frenatura per i treni reali è pari a 1/6 dei carichi verticali degli assi dei convogli e deve essere uniformemente distribuita su tutta la lunghezza del ponte.

Il carro D4 ha 4 assi da 225 kN, pertanto risulta una forza orizzontale di  $4 \cdot 225 / 6 = 150$  kN.

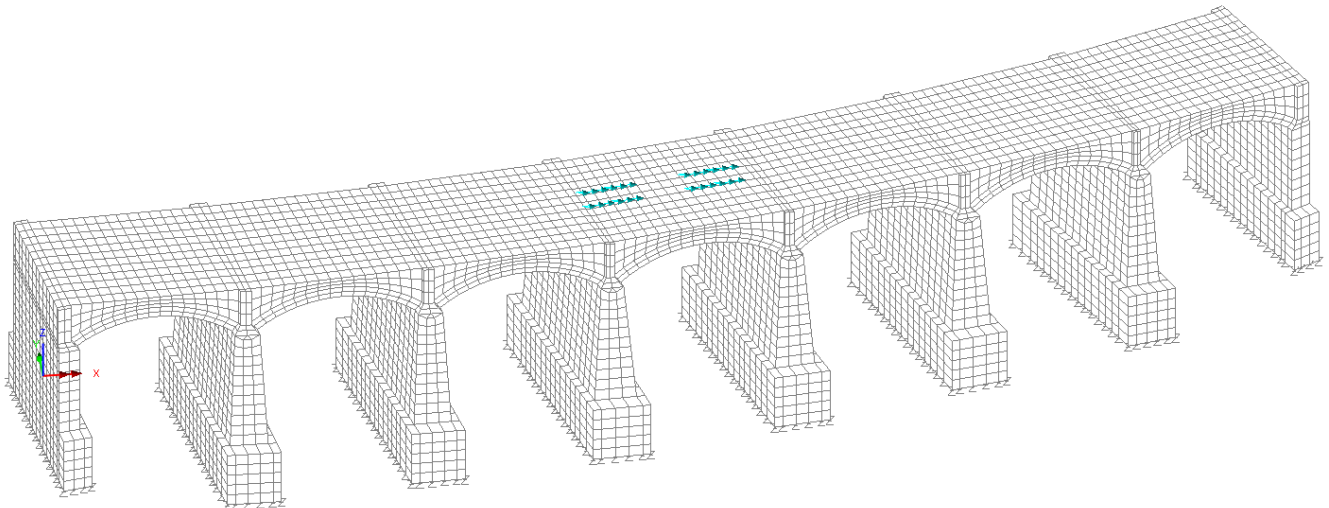
La massima forza di trazione trasmessa invece dal locomotore associato al carro D4 è pari 292 kN.

In favore di sicurezza, come azione orizzontale associata alla frenatura/avviamento, è stata considerata una forza totale di 292 kN distribuita sui 4 assi del singolo carro.



**Figura 9: Schema applicazione frenatura carro D4**

La condizione di carico con la frenatura come azione principale è stata considerata una volta sola, in concomitanza con il treno in posizione T3.



**Figura 10: Frenatura su modello di calcolo**

## 7.5 Vento

L'azione del vento è stata applicata come una pressione statica equivalente calcolata secondo la norma [N1].

Risulta una pressione di 1.50 kN/mq, approssimata per eccesso. Tale pressione è stata applicata su tutta la superficie esposta al vento e su una fascia di 4m sopra il piano del ferro, considerando il treno presente su tutto il ponte.

La pressione del vento sul treno è stata applicata all'estradosso del ballast con due forze distribuite orizzontali pari a  $1.5 \cdot 4 / 2 = 3$  kN/ml e con due forze distribuite verticali opposte pari a  $1.5 \cdot 4 \cdot 2 / 1.5 = 8$  kN/ml.

In favore di sicurezza, nell'analisi non è stato considerato il carico verticale associato al treno il quale offre un contributo benefico dal momento che aumenta la compressione sulle pile e quindi la stabilità. Per lo stesso motivo, il peso proprio della struttura è stato applicato con il coefficiente amplificativo minimo possibile da normativa, ossia unitario.

La classe di rugosità considerata è la D (aree prive di ostacoli) che fa rientrare il ponte nella categoria II di esposizione. Nel seguito si riporta l'immagine dell'applicazione del vento sul modello e il dettaglio del calcolo della pressione statica.

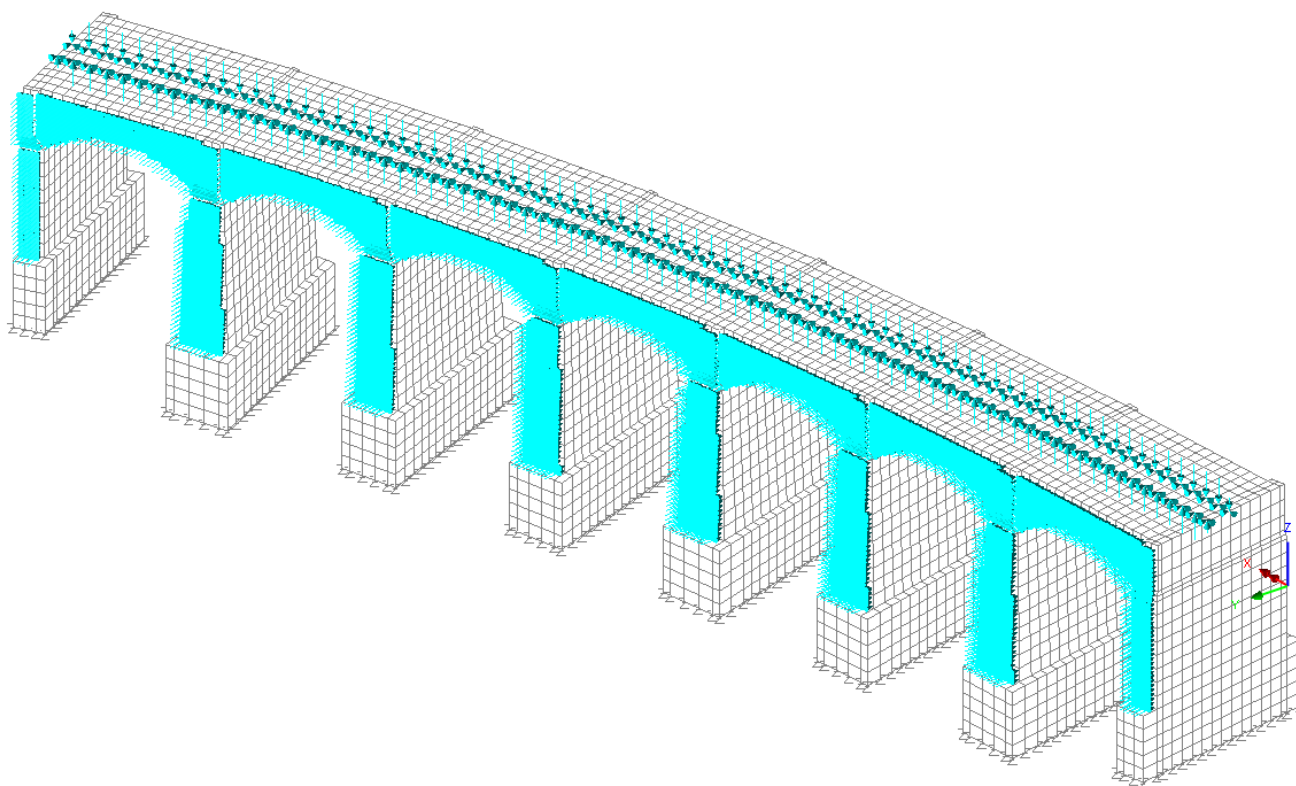


Figura 11: Vento su modello di calcolo

***CALCOLO DELLA PRESSIONE DEL VENTO - DM08***

altitudine sul livello del mare	as	228 m
zona		3
parametri	$v_{b,0}$	27 m/s
parametri	$a_0$	500 m
parametri	$k_a$	0.020 1/s
<b>velocità di riferimento (Tr=50 anni)</b>	$v_b = v_{b0} + k_a * (a_s - a_0)$	<b>27 m/s</b>
Periodo di ritorno considerato	$T_R$	50 anni
	$a_r$	1.00
<b>velocità di riferimento</b>	$v_b$	<b>27 m/s</b>
densità dell'aria	$\rho$	1.25 kg/m <sup>3</sup>
<b>pressione cinetica di riferimento</b>	$q_b = 0.5 * \rho * v_b^2$	<b>0.46 kN/m<sup>2</sup></b>
Classe di rugosità del terreno		D
Distanza dalla costa		10 km < e < 30 km
Altitudine sul livello del mare		< 500 m
Categoria di esposizione del sito	Cat	2
Altezza della costruzione rispetto al suolo	z	20 m
parametri	$k_r$	0.19
parametri	$z_0$	0.05 m
parametri	$z_{min}$	4 m
parametri	$z_{max}$	200 m
<b>Coefficiente di topografia</b>	$c_t$	<b>1</b>
coeff. di esposizione ( $z \leq z_{min}$ )	$c_e(z_{min})$	1.80
coeff. di esposizione (z)	$c_e(z)$	2.81
coeff. di esposizione	$c_e(z)$	2.81
<b>coefficiente di esposizione</b>	$c_e$	<b>2.81</b>
<b>coefficiente di forma sopravvento</b>	$c_p$	1
<b>coefficiente di forma sottovento</b>	$c_p$	0
<b>coefficiente dinamico</b>	$c_d$	1
<b>pressione del vento sopravvento</b>	$p = q_b * c_e * c_p * c_d =$	<b>1.28 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>pressione del vento sottovento</b>	$p = q_b * c_e * c_p * c_d =$	<b>0.00 kN/m<sup>2</sup></b>
	totale	1.28 kN/m <sup>2</sup>



**LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE**

**PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
IA0X 02 D 09 RH VI0500 001 A 24 di 78

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

Sono state effettuate 7 distinte analisi non lineari sulla struttura, di cui 5 relative al treno di carico, una relativa al vento e una relativa alla frenatura.

Tutte le analisi sono state condotte nell'ottica della verifica allo Stato Limite Ultimo, combinazione strutturale (STR).

Tutte le analisi vedono come primo carico l'applicazione incrementale del peso fino al valore di 1.35\*G. Solo nell'analisi relativa al vento il peso è stato considerato unitario visto che offre un contributo favorevole.

Ad eccezione dell'analisi della frenatura, il secondo carico applicato è il carico variabile, anch'esso applicato in maniera incrementale fino al valore di 5 volte il carico caratteristico. Per il treno, il carico caratteristico si intende comprensivo dell'incremento dinamico.

Nell'analisi della frenatura, dopo il peso, è stato applicato il carico del treno, nella posizione T3, fino al valore di 1.5. Per ultimo, è stata applicata la frenatura caratteristica fino ad un moltiplicatore di 5 volte.

Il coefficiente parziale di sicurezza sulle azioni variabili è pari a 1.45 per il treno e per la frenatura ed a 1.5 per il vento. E' pertanto lecito arrestare le analisi al valore di 5 volte il carico caratteristico.

Nell'ottica dell'analisi incrementale siffatta, si può definire il coefficiente di sicurezza come il rapporto tra il moltiplicatore ultimo e il coefficiente parziale sull'azione variabile, che possiamo porre univoco per convenienza e pari a 1.5.

Si riporta infine il moltiplicatore ultimo e coefficiente di sicurezza ottenuto per le 7 analisi svolte.

	treno pos.T1	treno pos.T2	treno pos.T3	treno pos.T4	treno pos.T5	vento	frenatura
Moltiplicatore ultimo	>5.0	>5.0	>5.0	>5.0	4.54	>5.0	>5.0
Coefficiente di sicurezza (>1)	>3.3	>3.3	>3.3	>3.3	3.03	>3.3	>3.3



## 9 SIMBOLOGIA E CONVENZIONI

Tutti i modelli di calcolo sono stati realizzati con le seguenti unità di misura: **Units: kN,m,t,s,C**

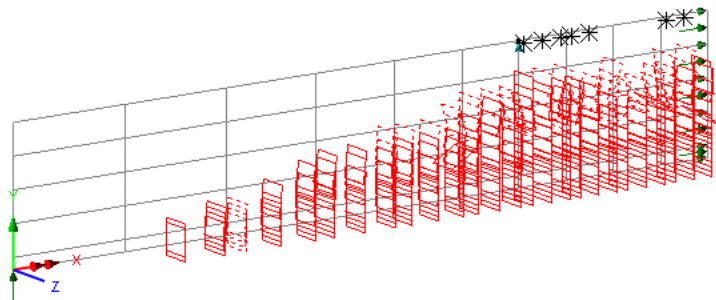
Le principali tensioni oggetto di interesse sono:

- S1: Tensione principale massima (Trazione)
- S3: Tensione principale minima (Compressione)

Per quanto riguarda la visualizzazione delle fessure si riporta un estratto del manuale del programma di calcolo utilizzato

■ **Crack patterns and Crushing** Crack patterns and crushing symbols can be displayed for models that use the concrete material models 94 and 102. These are visualised using the [Values layer](#) by specifying the Results Entity as **Stress** and the Type as **Crack/Crush**. Three types of display are possible:

- Localised crushing is shown by black star symbols
- For the Multi Crack Concrete model regions of cracking are shown by crack planes drawn in red full lines, and closed cracks are shown by crack planes drawn in red dashed lines.
- For the Smoothed Multi Crack Concrete Model crack planes are drawn in a common line style and pen colour whether open or closed in nature.



Open and closed crack planes and crush symbols resulting from the loading and unloading of a 2D concrete shell model

Si riporta per maggiore chiarezza la definizione del crush presente sul manuale del programma.

*“The ‘Uniaxial compressive strength’ parameter in a concrete model is the ultimate strength of the material in compression. Since concrete behaves linearly only up to around 40% of the ultimate strength, crushing is expected to occur before that strength has been reached. As a result, concrete **crush** symbols will be plotted on the model (if requested to do so) when the plastic work-hardening parameter (which is calculated internally) is greater than zero. The presence of crushing symbols therefore indicates that the point at which the material begins to damage (i.e. **crush**) and behave nonlinearly, has been passed.”*



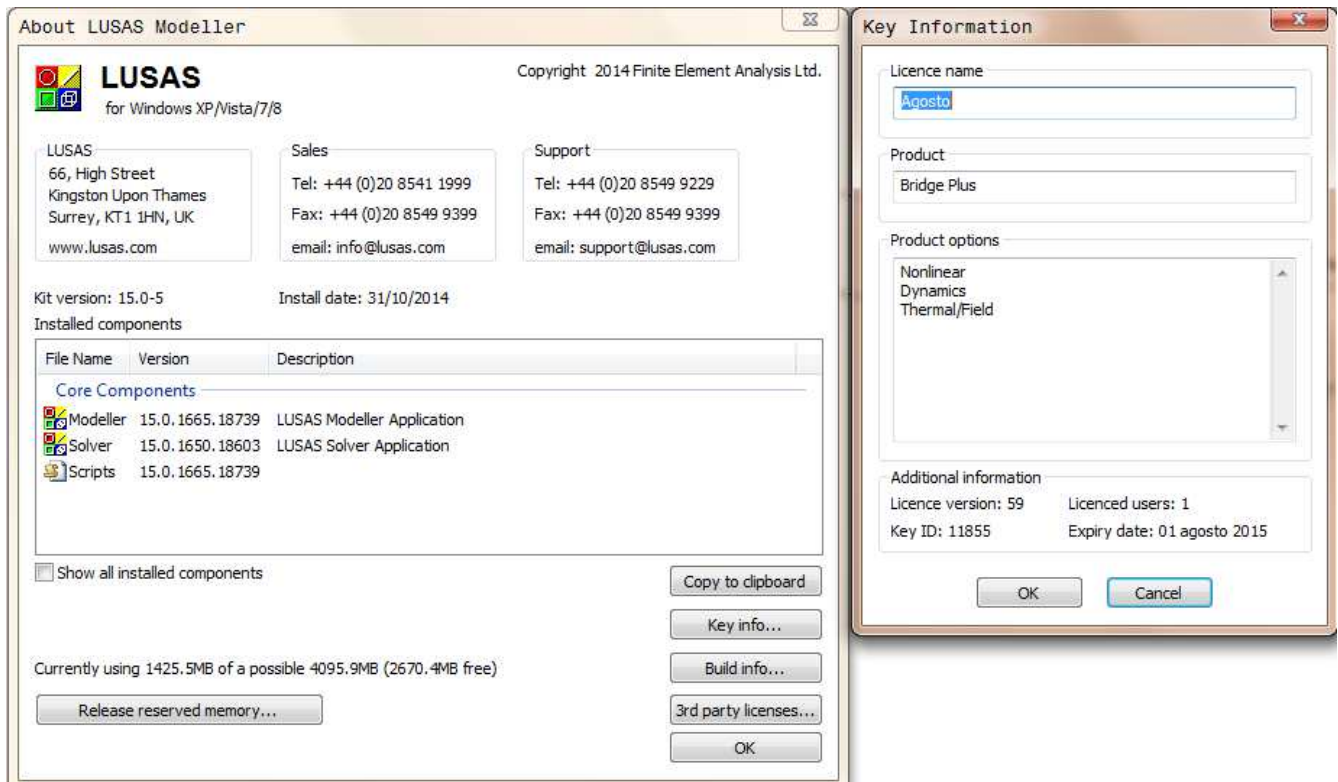
**LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE**

**PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
IA0X 02 D 09 RH VI0500 001 A 26 di 78

## 10 MODELLI DI CALCOLO

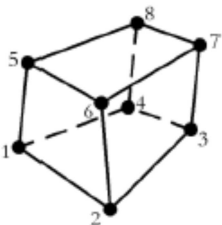
Il ponte è stato modellato agli elementi finiti con il programma di calcolo Lusas, versione 15.0



### 10.1 Elementi della mesh

Il modello è stato interamente creato con elementi solid a 8 nodi (elemento HX8).

#### HX8

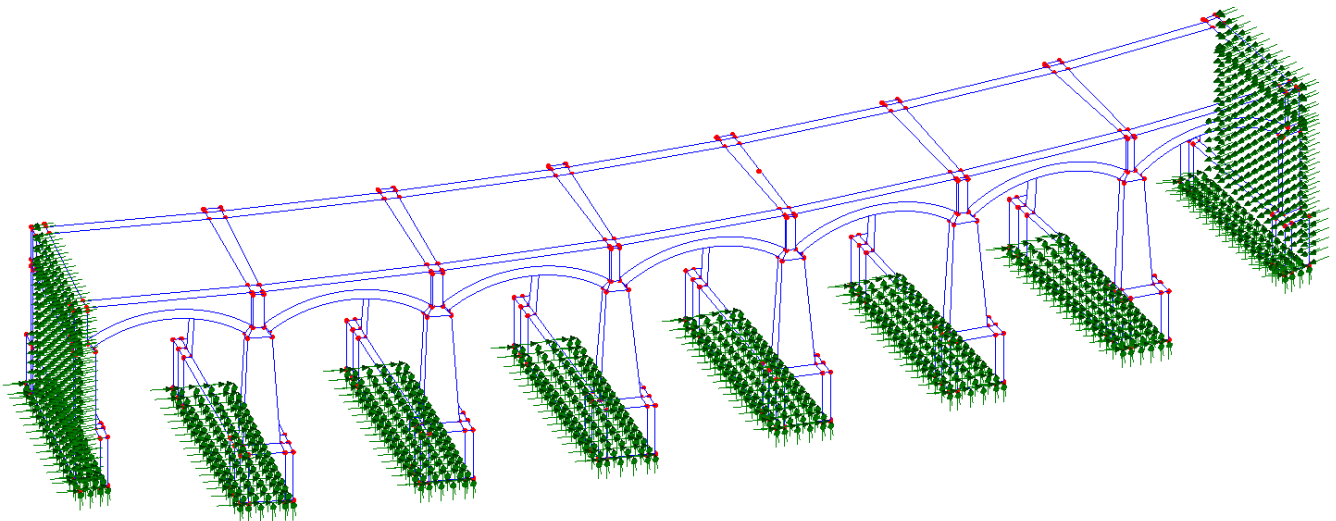


## 10.2 Vincoli

I plinti sono vincolati alla base con delle molle elastiche non lineari. La non linearità consiste nella non resistenza a trazione. Il tratto in compressione è invece elastico lineare. La capacità portante della fondazione in direzione verticale è stata controllata a posteriori.

E' stato assegnato un coefficiente di sottofondo solo in direzione verticale, mentre in quella orizzontale i plinti sono vincolati rigidamente al terreno, vista la presenza del terreno laterale che impedisce gli spostamenti orizzontali.

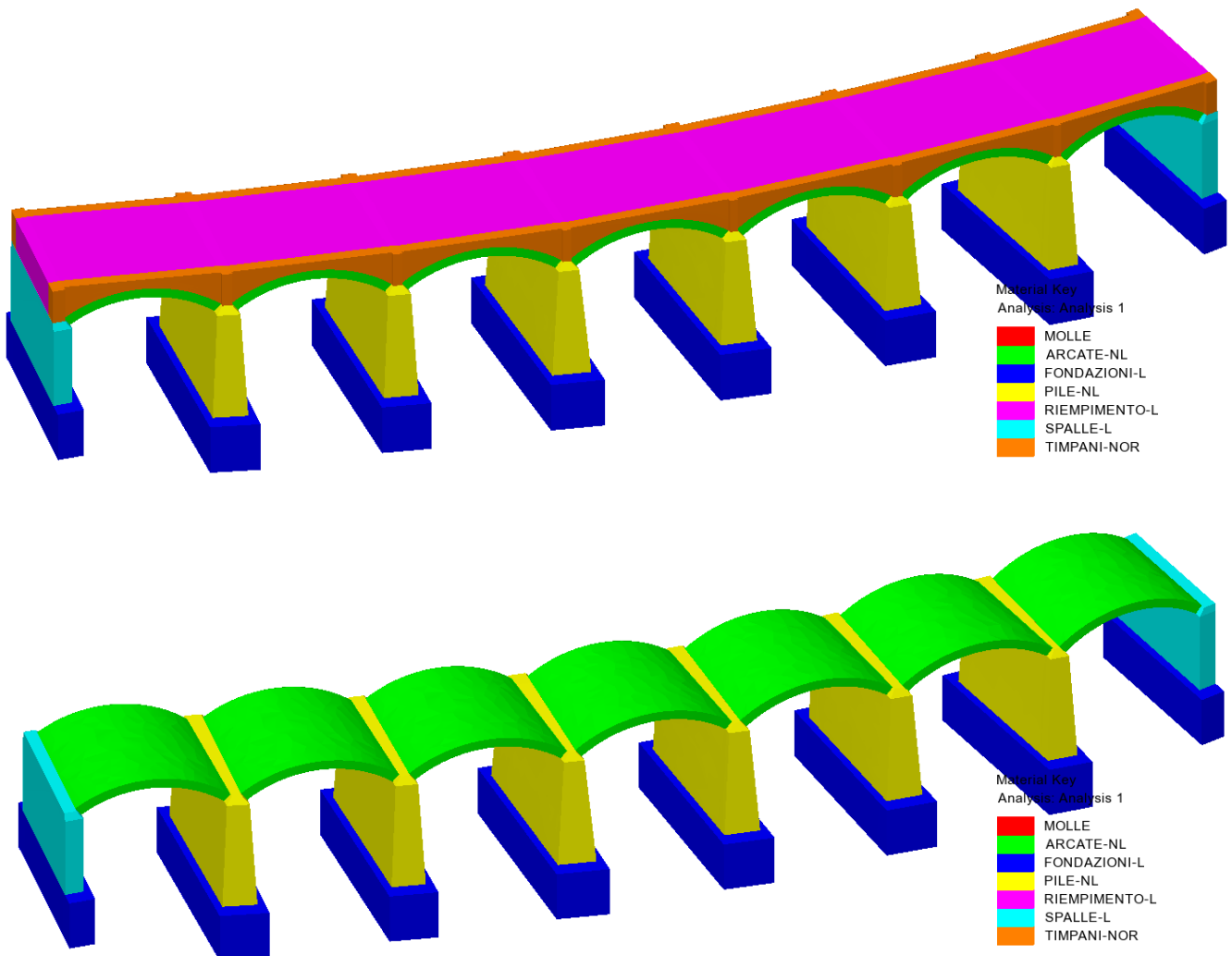
Sulle superfici delle spalle sono presenti opportuni vincoli di continuità .



**Figura 12: assegnazione vincoli**

### 10.3 Legami costitutivi materiali

I materiali utilizzati nelle analisi sono i seguenti:



Nel prospetto vengono riportate le caratteristiche dei materiali adottati:

Nome materiale	Elementi assegnati	Tipologia	Modulo di Young [MPa]	Coefficiente di Poisson [-]	Peso specifico [kN/mc]	Resistenza di progetto a compressione [MPa]	Resistenza di progetto a trazione [MPa]	Energia di frattura [N/mm]
TIMPANI-NOR	Timpani	elastico isotropo lineare (a bassa rigidezza)	120	0.25	18			
RIEMPIMENTO-L	Riempimento e rinfianchi	elastico isotropo lineare (a bassa rigidezza)	120	0.25	20			
FONDAZIONI-L	Plinto di fondazione	elastico isotropo lineare (rigidezza effettiva)	5 800	0.25	23			
SPALLE-L	Elevazione spalle	elastico isotropo lineare (rigidezza effettiva)	5 800	0.25	21			
ARCATE-NL	Arcate	plastico con duttilità in compressione; modello con fratture localizzate per la trazione	5 800	0.25	18	1.93	0.2	0.1
PILE-NL	Elevazione pile	plastico con duttilità in compressione; modello con fratture localizzate per la trazione	5 800	0.25	21	1.93	0.2	0.1

### 10.3.1 Arcata e pila non lineare

Per l'arcata e per la pila è stato utilizzato il modello costitutivo "Concrete (Smoothed Multi Crack model 102)".

Visto che l'arco è in muratura, si è scelto di utilizzare la tipologia "Mass Concrete", più adatta alle strutture non armate. Questa tipologia, che si basa su di un modello di frattura localizzato, utilizza l'energia di frattura per governare il ramo softening del legame costitutivo a trazione.

Dynamic properties

Thermal expansion

	Value
Young's modulus	5.8E6
Poisson's ratio	0.25
Mass density	1.835

Isotropic

Plastic  Creep  Damage  Shrinkage  Viscous  Two phase

Elastic Plastic

Concrete


Type Smoothed Multi Crack (model 102)

Advanced...

	Value
Uniaxial compressive strength	1.93E3
Uniaxial tensile strength	200.0
Fracture energy per unit area	0.1

Advanced Concrete Properties

	Value
Strain at peak uniaxial compression	2.2E-3
Strain at end of softening curve	0.0
Biaxial to uniaxial stress ratio	1.15
Initial relative position of yield surface	0.6
Dilatancy factor	-0.1
Constant in interlock state function	0.425
Contact multiplier on e0	0.5
Final contact multiplier on e0	5.0
Shear intercept to tensile strength	1.25
Slope of friction asymptote for damage	1.0
Crack fixity strain	0.05
Fracture process zone width	0.06
Number iterations	2.0

	<p><b>LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b></p>																		
<p><b>PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA0X</td> <td>02</td> <td>D</td> <td>09</td> <td>RH</td> <td>VI0500</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>30 di 78</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	30 di 78
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	30 di 78											

### 10.3.2 Multi Crack Concrete (Model 102)

Nel presente paragrafo viene riportata per intero la descrizione del legame costitutivo riportata sul manuale del programma.

#### [Multi Crack Concrete Model \(Model 94\)](#)

The Multi Crack Concrete model is a plastic-damage-contact model in which damage planes form according to a principal stress criterion and then develop as embedded rough contact planes. The basic softening curve used in the model may be controlled via a fixed softening curve or by a fracture-energy controlled softening curve that depends on the element size. The former, a distributed fracture model, is applicable to reinforced concrete applications, while the latter localised fracture model is applicable to un-reinforced cases.

- For this concrete model, crack/crush results can be plotted for the Values layer as component ‘Crack/Crush’ under the Stress entity. Planes representing the cracks are displayed in two and three-dimensions. Points of crushing are displayed using star symbols. Calculation and plotting of contours of crack widths is not possible using this concrete model.

#### [Smoothed Multi Crack Concrete Model \(Model 102\)](#)

The Smoothed Multi Crack Concrete model is similar to the Multi Crack Concrete model, converges more rapidly and is more robust, but requires a number of different input parameters. In contrast to the Multi Crack Concrete Model the Smoothed Multi Crack Concrete Model does not have distinct crack statuses (open or closed/interlocked).

- For this concrete model cracking and crushing results can be plotted for the Values layer as component ‘Crack/Crush’ under the Stress entity. Planes representing the cracks are displayed in two and three-dimensions. Points of crushing are displayed using star symbols.
- General crack width calculation is possible with this model and can be plotted for the Contour and Values layers as component of CWMax (Maximum crack width) under the Plastic strain - Plane stress entity. Component EFSSMax (Maximum equivalent fracture strain) is also available. Note that these components are only applicable for elements that support the multi-crack concrete model. See Appendix K: Results Tables in the *Element reference Manual* for details.
- When this concrete model is used in conjunction with reinforcement attributes, a linear steel material model, and with the Crack Widths calculation utility, crack width calculations in accordance with EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2 can be carried out. See *Application Manual (Bridge, Civil & Structural) Crack Width Calculation to EN 1992-1-1* for more information. Crack width information can be plotted for the Contour and Values layers as components of Maximum Crack Width under the Crack Widths EN1991-1 entity.

Note that a better estimation of crack widths is likely to be achieved when linear elements are used. The use of quadratic elements is likely to result in less accurate crack widths. A fine mesh may also be required to capture the stress localization band that results in the formation of a crack.

### Elastic Material Properties

- **Young's modulus** It is important that the Young's modulus,  $E$ , is consistent with the strain at peak compressive stress,  $\epsilon_c$ . A reasonable check is to ensure that  $E > 1.2 f_c / \epsilon_c$
- **Mass density** The mass density of concrete ( $\rho$ ) is generally taken to be of the order of 2400kg/m<sup>3</sup> for mass concrete and 2500kg/m<sup>3</sup> for reinforced or prestressed concrete. Where more accurate determination is required information specific to the concrete in question should be obtained or a value determined experimentally.


### Plastic Material Properties

These primary material properties apply to both unreinforced (mass concrete) and reinforced concrete except where stated.

- **Uniaxial compressive strength** ( $f_c$ ) e.g. 40 N/mm<sup>2</sup>. The generally available “characteristic compressive strength” may not be appropriate for use in a finite element analysis with a concrete material model. This is because cube strengths do not represent a uniaxial compressive strength due to the influence of significant boundary restraints caused by friction on the platens of any testing machine, so it may be necessary to convert a cube strength to a cylinder strength. Note also that, commonly, “characteristic” (5% lower percentile) compressive strength is used for engineering purposes, and consideration should also be given to whether a mean, characteristic, or other value is most appropriate to the analysis in question. The CEB-FIP Model Code 1990 equation 2.1-1 suggests that a mean cylinder strength ( $f_{cm}$ ) may be estimated from a characteristic cylinder strength ( $f_{ck}$ ).
- **Uniaxial tensile strength** ( $f_t$ ) e.g. 3 N/mm<sup>2</sup>. This is likely to be a principal parameter in any analysis where concrete cracking is of significance. Ideally, the tensile strength would be available from test results. In the absence of test results, a value must be assessed using available data and relationships found in literature. Many design codes offer estimates of the value and the CEB-FIP Model Code 1990 gives minimum, maximum and mean strengths based on an available characteristic cylinder strength.
- **Fracture energy per unit area** ( $G_f$ ) e.g. 0.1 or 0 if  $e_0 > 0$ . For concrete,  $G_f$  is usually in the range 60 to 150J/m<sup>2</sup>, varying with aggregate size but not so much with concrete strength. Where no data is available then a value of  $G_f = 0.13$ N/mm is suggested.

### Notes relating to material properties

- The ‘Uniaxial compressive strength’ parameter in a concrete model is the ultimate strength of the material in compression. Since concrete behaves linearly only up to around 40% of the ultimate strength, crushing is expected to occur before that strength has been reached. As a result, concrete crush symbols will be plotted on the model (if requested to do so) when the plastic work-hardening parameter (which is calculated internally) is greater than zero. The presence of crushing symbols therefore indicates that the point at which the material begins to damage (i.e. crush) and behave nonlinearly, has been passed.

	<b>LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – ELETRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>																		
<b>PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA0X</td> <td>02</td> <td>D</td> <td>09</td> <td>RH</td> <td>VI0500</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>32 di 78</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	32 di 78
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	32 di 78											

### [Advanced properties](#)

These more advanced material properties are related to measurable characteristics. Additional information relating to some of the properties and suggested values are stated in the notes that follow.

- **Strain at peak uniaxial compression** ( $\epsilon_c$ ) e.g. 0.0022
- **Strain at end of softening curve** for distributed fracture ( $\epsilon_o$ ) e.g. 0.035 or 0 if  $G_f > 0$ .
- **Biaxial to uniaxial stress ratio** ( $\beta_r$ ) e.g. 1.15
- **Initial relative position of yield surface** ( $Z_o$ ) e.g. 0.6
- **Dilatancy factor** (giving plastic potential slope relative to that of yield surface) ( $\psi$ ).e.g. -0.1
- **Constant in interlock state function** ( $m_g$ ) e.g. 0.425
- **Contact multiplier on  $\epsilon_o$**  for the 1st opening stage ( $m_{hi}$ ) e.g. 0.5
- **Final contact multiplier on  $\epsilon_o$**  ( $m_{fil}$ ) e.g. 5.0
- **Shear intercept to tensile strength ratio for local damage surface** ( $r\sigma$ ) e.g. 1.25
- **Slope of friction asymptote for damage** ( $\mu$ ) e.g. 1.0
- **Angular limit between crack planes** (Radians) e.g.1.0 (for Multi Crack Concrete Model only)
- **Crack fixity strain** e.g. 0.05 (for Smoothed Multi Crack Concrete Model only)
- **Fracture process zone width** e.g. 0.06 (for Smoothed Multi Crack Concrete Model only)
- **Number of iterations** e.g. 2 (for Smoothed Multi Crack Concrete Model only)

### [Notes relating to advanced properties](#)

- **Strain at peak uniaxial compression** If no data for the strain at peak uniaxial compression is available it can be estimated see *Solver Reference Manual* for details. As a guide, a reasonable value for most types of concrete is 0.0022. It is important that the Young's modulus, E, (defined on the Elastic properties page) is consistent with the strain at peak uniaxial compression,  $\epsilon_c$ . A reasonable check is to ensure that  $E > 1.2 f_c / \epsilon_c$
- **Strain at end of softening curve** For reinforced concrete, distributed fracture will be the dominant fracture state. In this case a value for the strain at the end of the tensile softening curve,  $\epsilon_o$ , should be entered and  $G_f$  set to zero. If no data is available then a value for  $\epsilon_o$  of 0.0035 is reasonable to use for most concretes.

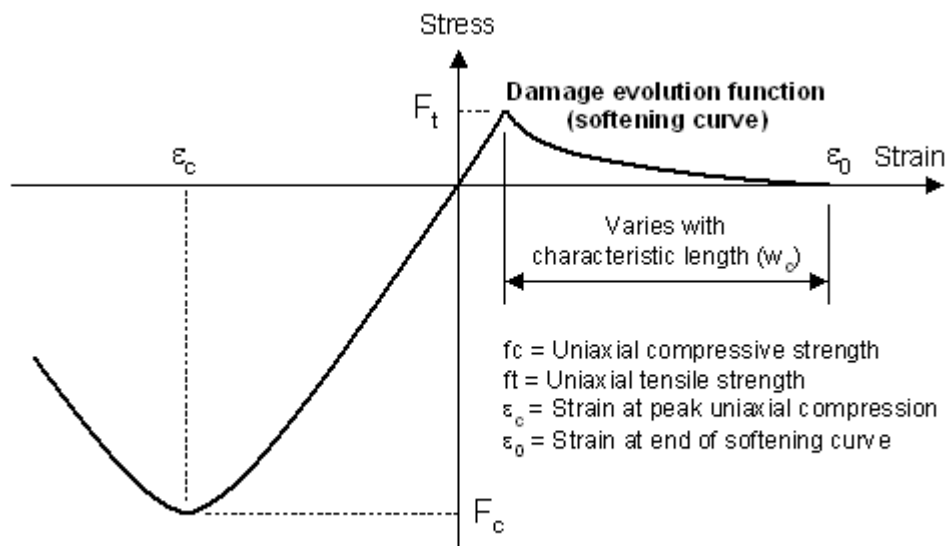


- The value for  $\epsilon_0$  must be set to zero when the fracture energy per unit area,  $G_f$ , is given a positive value.  $G_f$  varies with aggregate size but not so much with concrete strength. Typical values for various maximum coarse aggregate sizes are:

16 mm aggregate:  $G_f = 0.1$  N/mm;

20 mm aggregate:  $G_f = 0.13$  N/mm;

32 mm aggregate:  $G_f = 0.16$  N/mm;



**Stress / strain curve for multi crack concrete model (Model 94)**

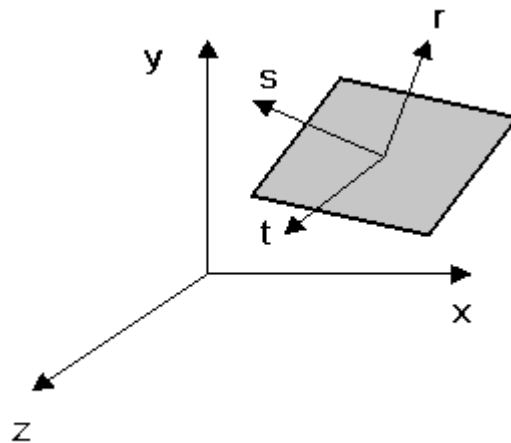
- If the effective end of the softening curve parameter,  $\epsilon_0$ , is set to zero, it will be calculated from  $\epsilon_0 \sim 5G_f / W_c f_t$  where  $W_c$  is a characteristic length for the element; if a finite value is given for  $\epsilon_0$ ,  $G_f$  will be ignored.
- Biaxial to uniaxial stress ratio** A range of 1.05 to 1.3 is suggested and a default of 1.15 is provided.
- The initial relative position of yield surface** is governed by the value of  $Z_0$ . For most situations in which the degree of triaxial confinement is relatively low, a value of between 0.5 and 0.6 is considered appropriate for  $Z_0$  however, for higher confinements a lower value of 0.25 is better.
- Dilatancy factor** The parameter  $\psi$  is used to control the degree of dilatancy. Associated plastic flow is achieved if  $\psi=1$ , but it has been found that  $\psi$  values in the range -0.1 to -0.3 are required to match experimental results. Generally  $\psi$  is set to -0.1, but for high degrees of triaxial confinement -0.3 provides a better match to experimental data.

- **Constant in interlock state function** [ $m_g$ ] can be obtained from experimental data from tests in which shear is applied to an open crack. The default value for  $m_g$  is taken as 0.425 but it is considered that a reasonable range for  $m_g$  for normal strength concrete is between 0.3 and 0.6. However, it was found that a low value of 0.3 could lead to second cracks forming at shallow angles to the first, due to the development of relatively large shear forces.
- **Contact multiplier on  $\epsilon_0$**  [ $m_{hi}$ ] is used to govern the amount of contact from micro-cracks. Experimental evidence suggests that the shear contact potential drops off more quickly for some concretes than for others,  $m_{hi}$  governs the early (micro-crack) loss of shear contact potential and  $m_{ful}$  controls the final amount (associated with coarse aggregate interlock). To truly calibrate these parameters, tests, which open cracks to different degrees and then apply shear, are required; however for a wide range of standard concrete  $m_{hi} = 0.5$  and  $m_{ful} = 5.0$  give reasonable results. A range of 0.25 to 2.0 is suggested and a default of 0.5 is provided
- **Final contact multiplier on  $\epsilon_0$**  It is assumed that there is a crack opening strain beyond which no further contact can take place in shear,  $e_{ful}$ , where  $e_{ful}$  is a multiple of  $\epsilon_0$ , i.e.  $e_{ful} = m_{ful} \epsilon_0$ . Trials suggest that when concrete contains relatively large coarse aggregate, i.e. 20 to 30mm, a value of  $m_{ful}$  in the range 10-20 is appropriate, whereas for concrete with relatively small coarse aggregate, i.e. 5 to 8mm, a lower value is appropriate, in the range 3 to 5. This variation is necessary because the relative displacement at the end of a tension-softening curve (related via the characteristic dimension to  $\epsilon_0$ .) is not in direct proportion to the coarse aggregate size, whereas the clearance displacement is roughly in proportion to the coarse aggregate size. Thus  $e_{ful}$  is not in a fixed ratio to  $\epsilon_0$ .
- **Shear intercept to tensile strength** A range of 0.5 to 2.5 is suggested and a default value of 1.25 is provided.
- **Slope of friction asymptote for damage** A range of 0.5 to 1.5 is suggested and a default value of 1.0 is provided.
- **Number of iterations** This is the number of iterations beyond which the crack directions are fixed. Increasing the number of iterations from the default value of 2 usually makes convergence more difficult but can lead to greater accuracy in some cases. If the number of iterations is increased, then the Maximum number of iterations on the Nonlinear and Transient Control dialog should also be increased.

### Planes of degradation

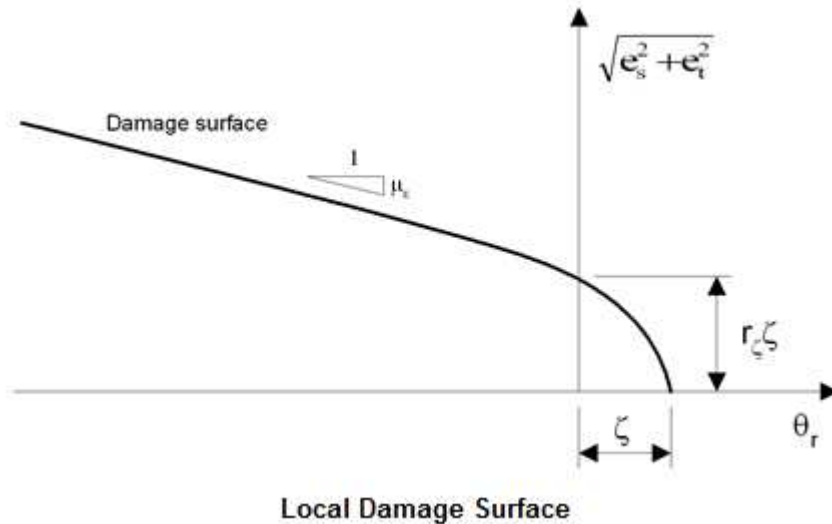
A Plane of Degradation (POD) is formed when the principal stress reaches the tensile strength ( $f_t$ ); the POD is formed normal to the major principal stress axis. Thereafter, further damage can develop due to the combined action of shear and direct (normal) strains:

- Further normal tensile stress would increase the damage, while both the stiffness of the material along the POD normal (i.e. the normal stiffness) and the shear stiffness, would decrease
- Further shear stress does not increase the damage; it causes aggregate interlock (i.e. contact) and an increase in both shear and normal stiffness
- Further normal compressive stress does not increase the damage; normal and shear stiffness would increase due to contact.



**POD Local and Global Coordinate Systems**

### Local damage surface



The constants  $r_\zeta$  and  $\mu_e$  are the strain equivalents of the material input parameters  $r_\sigma$  and  $\mu$ . The relative shear stress intercept to tensile strength ratio  $r_\sigma = c / f_t$  where  $c$  is the shear stress intercept. Typical plots of the damage surface in stress space (the damage surface represents debonding or failure of the cement – aggregate interface) have shown the ratio between the shear strength and tensile strength of the interface bond to be approximately 1.25.

### General notes

- If the dilatency factor ( $\psi$ ) and the constant in interlock state function ( $m_g$ ) are set to 1.0 a symmetric solution will be carried out, otherwise the non-symmetric solver will be invoked.
- It is recommended that fine integration be used with these material models as this helps prevent the occurrence of mechanisms when cracking occurs. However the use of fine integration is more expensive computationally and can degrade the performance of higher order element types.
- Line searches should not be invoked when using the Smoothed Multi Crack Concrete Model (Model 102), in NONLINEAR CONTROL, ITERATIONS, nalps should be set to zero.
- It is recommended that the following LUSAS options are used with these concrete models:

252 Suppress pivot warnings.

62 Allow negative pivots.

See the *Solver Reference Manual* and *Theory Manual* for further information relating to concrete material modelling.



LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE

PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO
IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	37 di 78

### 10.3.3 Interazione terreno – struttura

È stato assunto un coefficiente di sottofondo di  $70'000 \text{ kN/mc} = 7 \text{ kg/cm}^3$

Il plinto di fondazione poggia su uno strato di limi compatti/semilitoidi.

I parametri meccanici utilizzati nella verifica della capacità portante delle fondazioni sono riportati nel paragrafo 11.1.9.

Per maggiori dettagli riguardo il calcolo del coefficiente di sottofondo e la caratterizzazione geotecnica si rimanda alla Relazione Geotecnica.



LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE

PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
IA0X 02 D 09 RH VI0500 001 A 38 di 78

## 11 ANALISI 3D NON LINEARI

Nei paragrafi successivi, vengono riportate le schermate ottenute dal programma di calcolo.

Per ciascuna delle sette analisi, sono riportate le tensioni principali di compressione e di trazione, con una vista sia dall'alto che dal basso, al fine di individuare le zone critiche sia all'estradosso che all'intradosso delle arcate. In tutte le immagini, sia il riempimento che i timpani vengono tenuti volutamente nascosti in quanto non partecipano al meccanismo resistente della struttura.

La scala delle compressioni è limitata al valore massimo della resistenza a compressione della pila o dell'arcata, mentre la scala delle trazioni è limitata al valore di 200 kPa. Tutte le mappe delle tensioni sono visualizzate sulla configurazione deformata, con una scala fissata ed univoca per tutte.

Per ogni categoria di visualizzazione, sono riportate 3 immagini, la prima relativa al peso proprio con il suo coefficiente amplificativo  $\gamma_G$ , la seconda relativa al peso proprio amplificato + il carico accidentale, sempre amplificato per  $\gamma_Q$  e l'ultima relativa all'ultimo carico ottenuto dall'analisi.

In ogni immagine, oltre alla visualizzazione delle tensioni tramite i colori, viene anche riportato il valore massimo in termini assoluti.

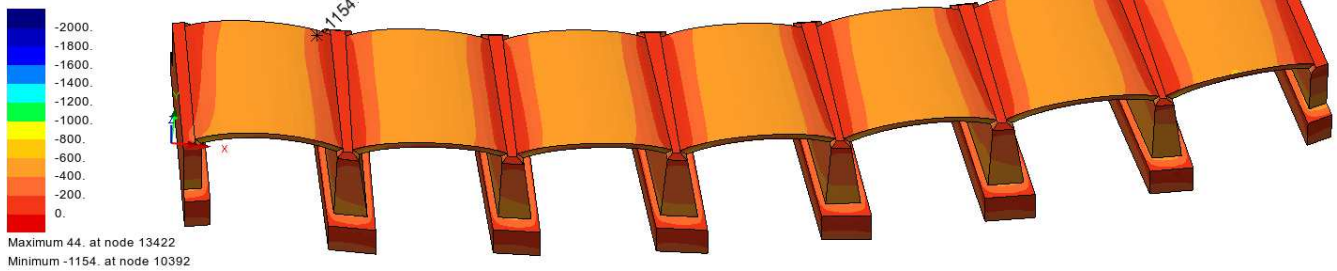
Oltre alla visualizzazione delle tensioni, vengono riportate anche le immagini relative al crush and crush.

L'analisi critica dei risultati viene rimandata al paragrafo 11.1.10.

### 11.1.1 Treno D4 in pos. T1

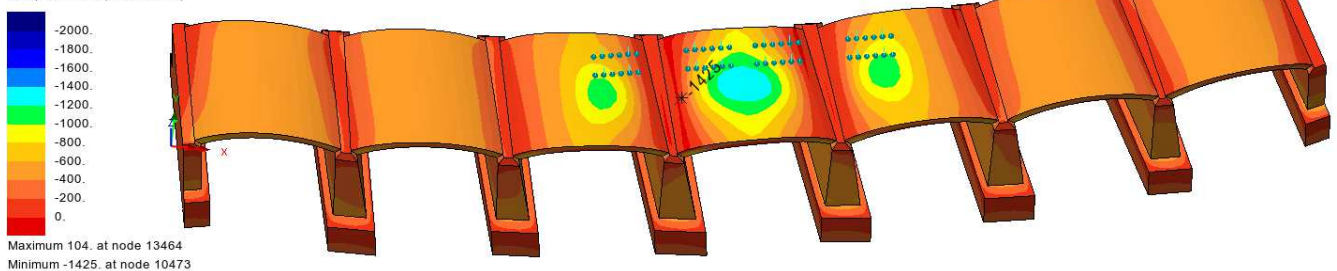
#### Mappa tensioni S3 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6: Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



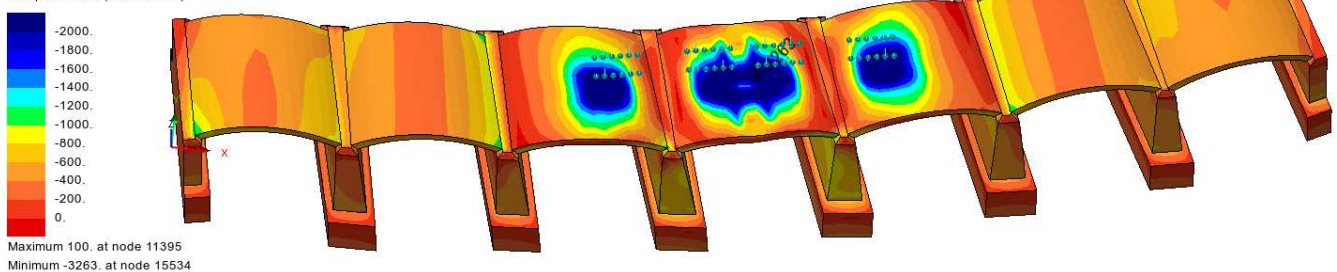
**Figura 13: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13: Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 14: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

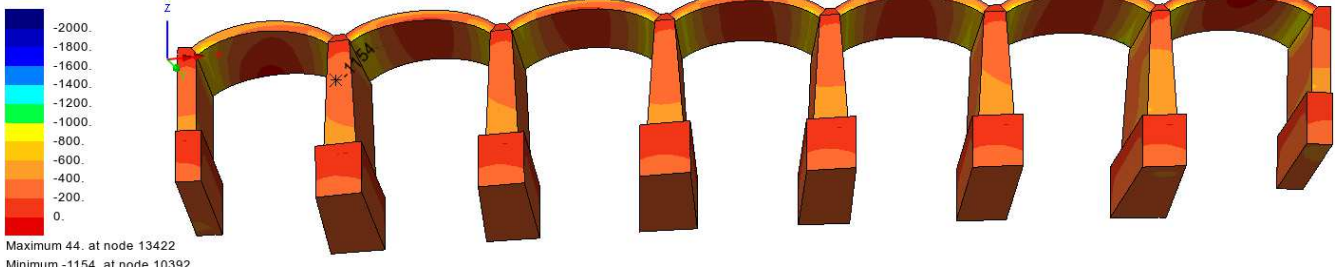
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 51: Loadcase 3, Increment 51 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 15: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

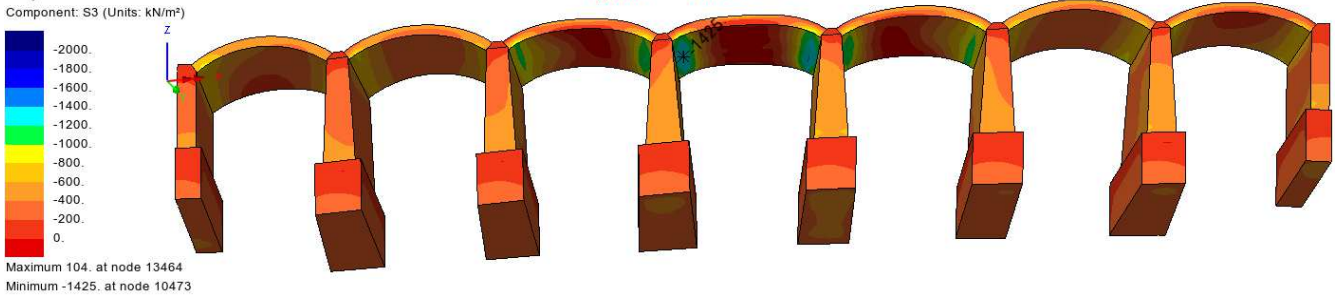
Mappa tensioni S3 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



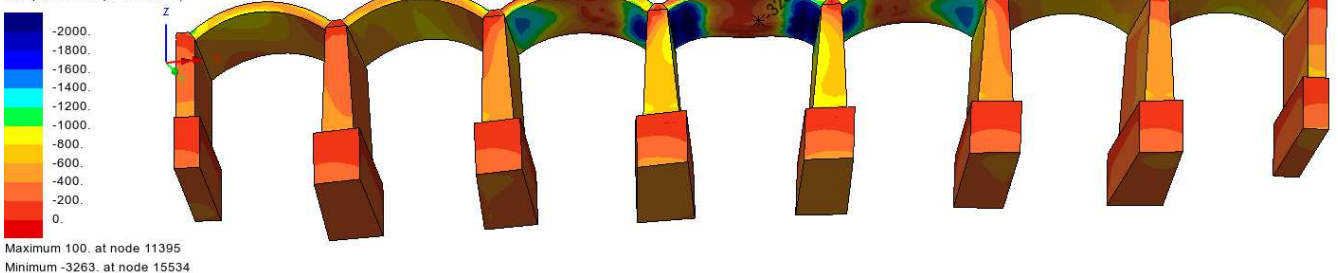
**Figura 16: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 17: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 51:Loadcase 3, Increment 51 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

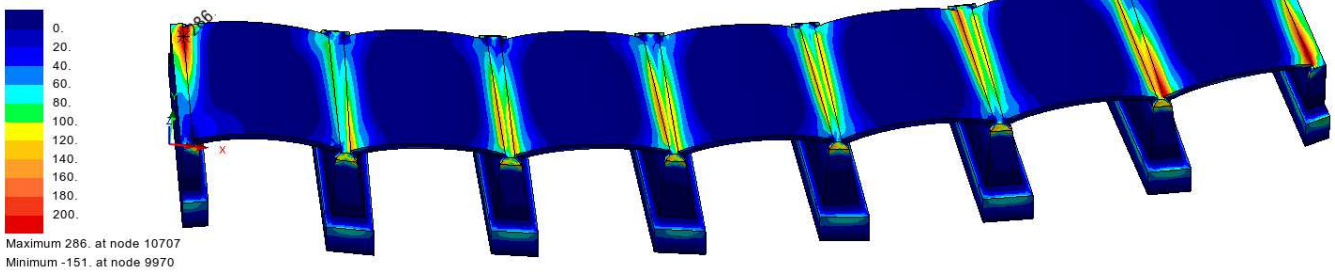


**Figura 18: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**



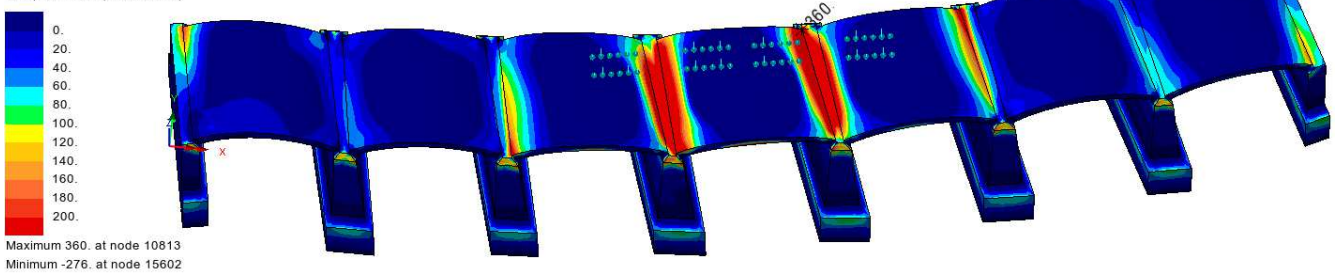
Mapa tensioni S1 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



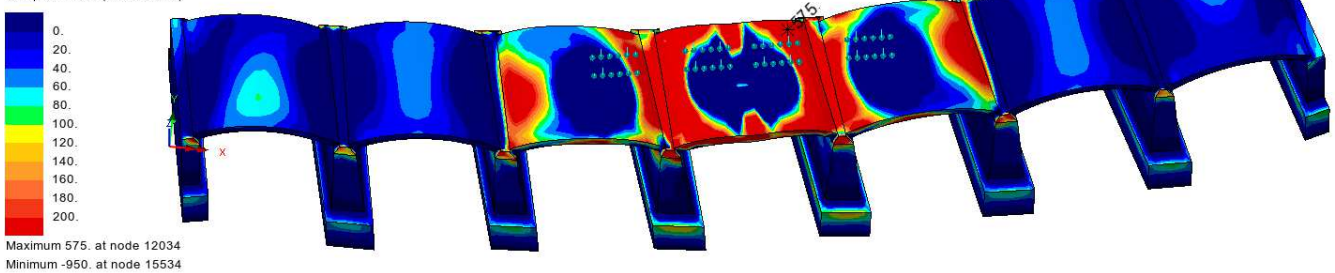
**Figura 19: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 20: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

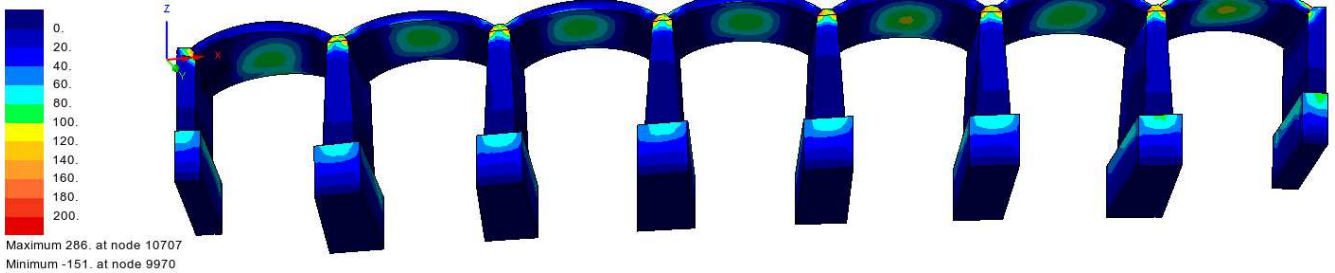
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 51:Loadcase 3, Increment 51 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 21: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

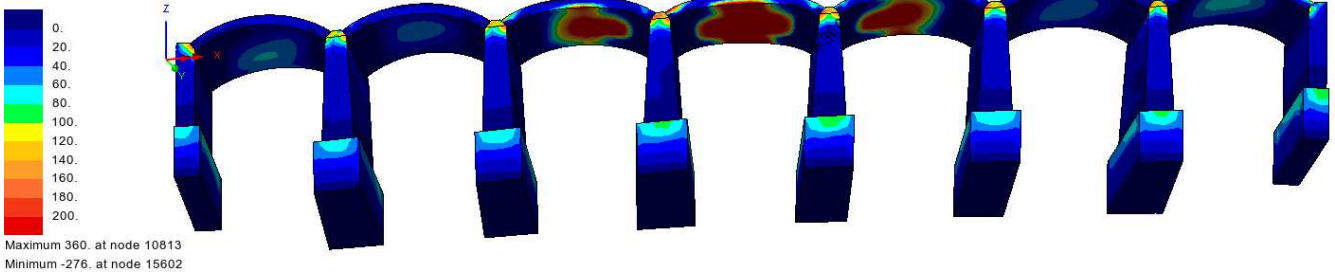
Mappa tensioni S1 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



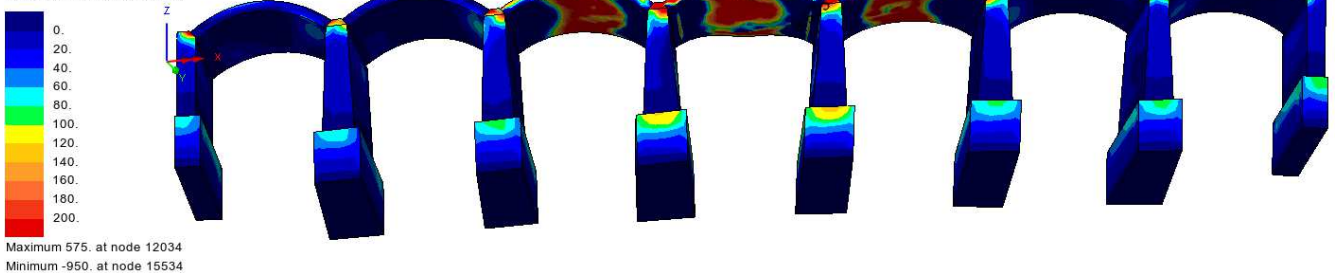
**Figura 22: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 23: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

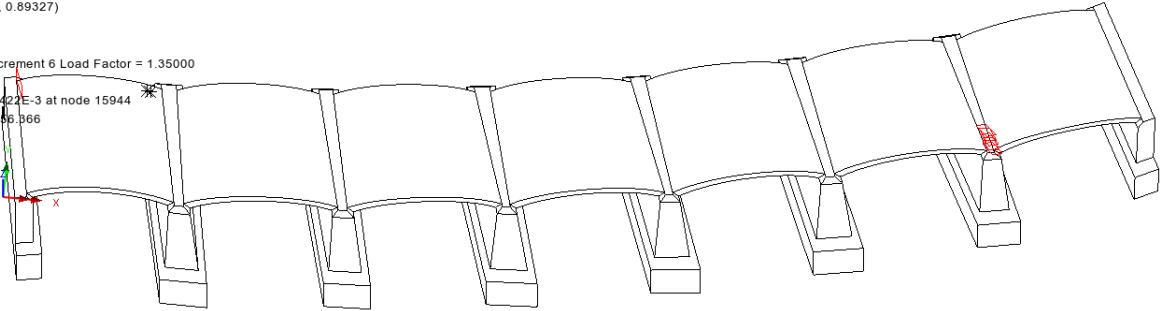
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 51:Loadcase 3, Increment 51 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 24: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

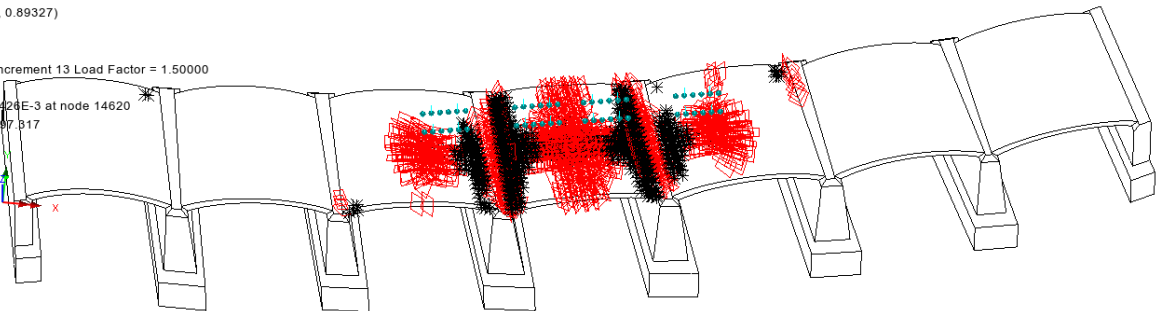
### Crack and crush

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 7.75422E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 356.866



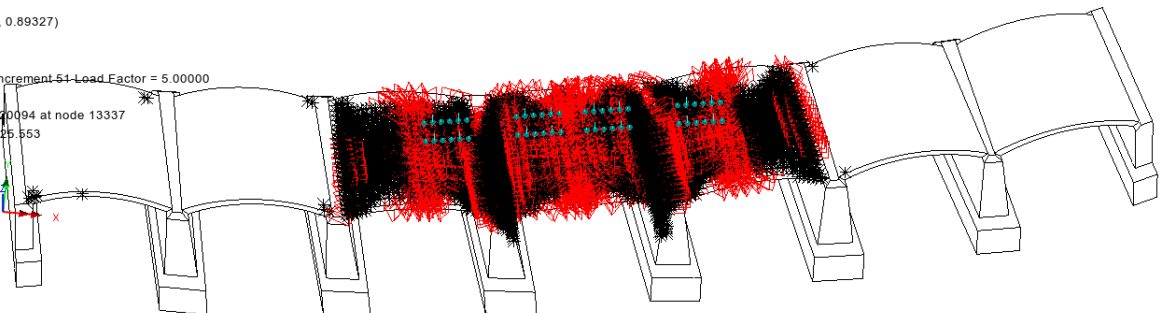
**Figura 25: crack and crush: peso proprio x 1.35**

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 9.29426E-3 at node 14620  
Deformation exaggeration: 297.817



**Figura 26: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 51:Loadcase 3, Increment 51 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 0.0220094 at node 13337  
Deformation exaggeration: 125.553

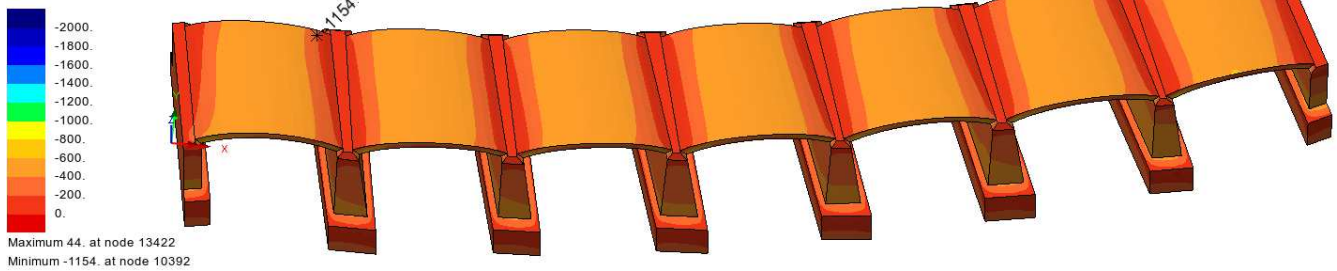


**Figura 27: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

### 11.1.2 Treno D4 in pos. T2

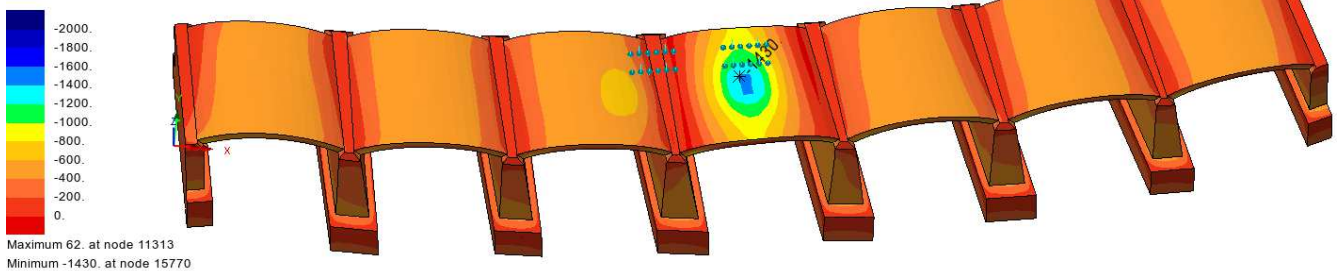
#### Mappa tensioni S3 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



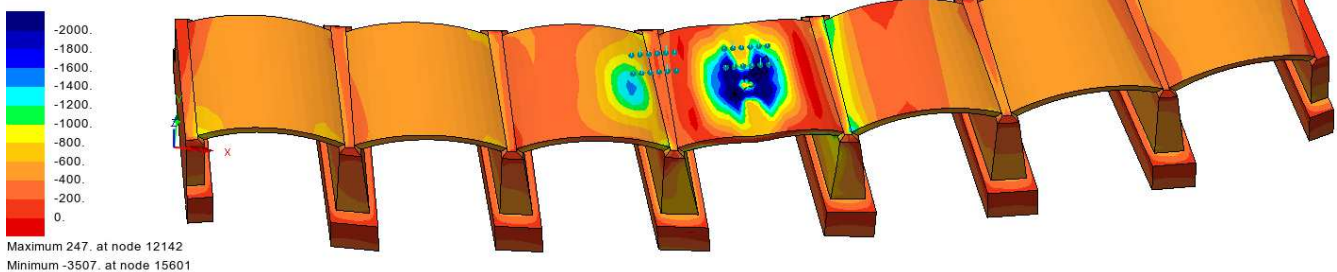
**Figura 28: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 29: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

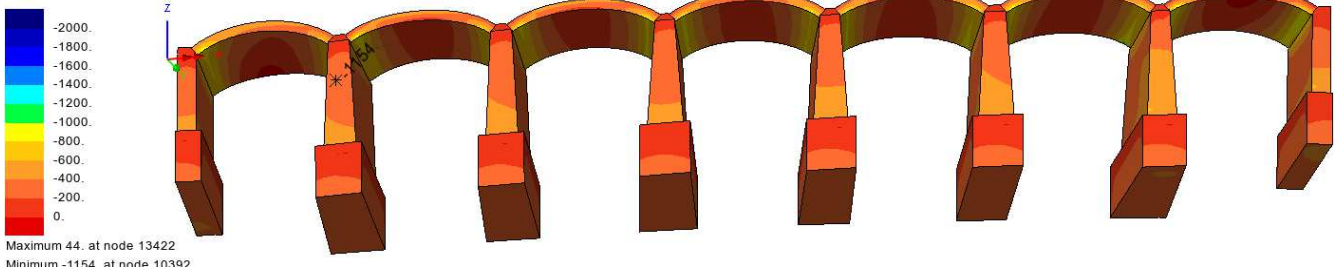
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 31:Loadcase 3, Increment 31 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 30: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

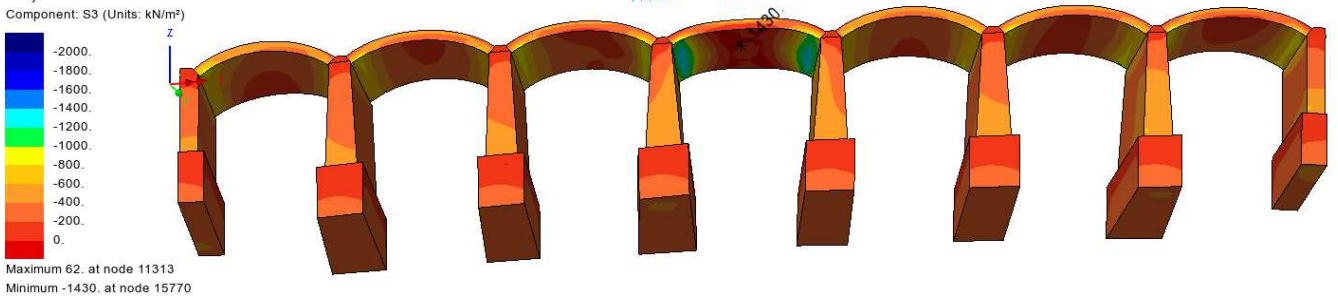
Mappa tensioni S3 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



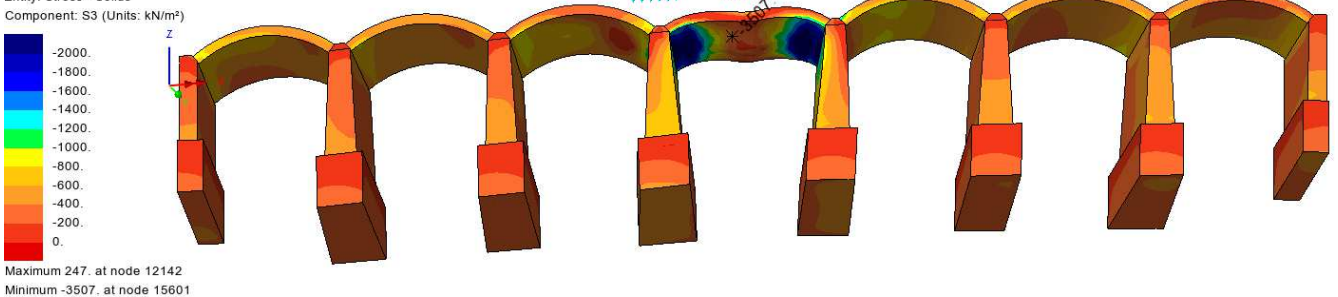
**Figura 31: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 32: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

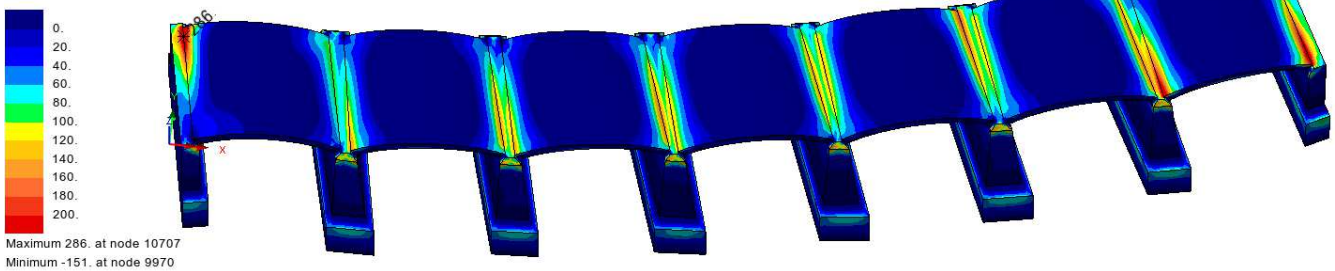
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 31:Loadcase 3, Increment 31 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 33: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

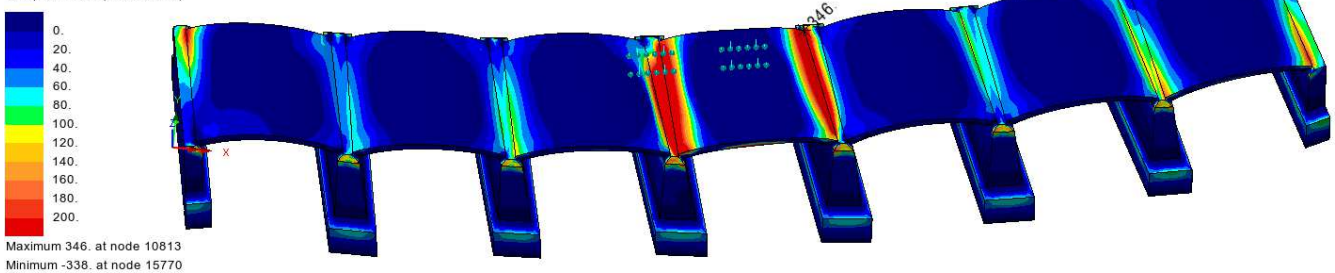
Mappa tensioni S1 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



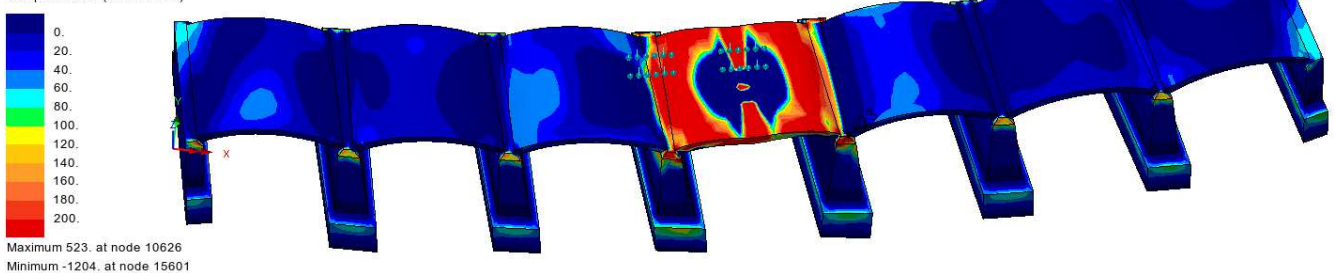
**Figura 34: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 35: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

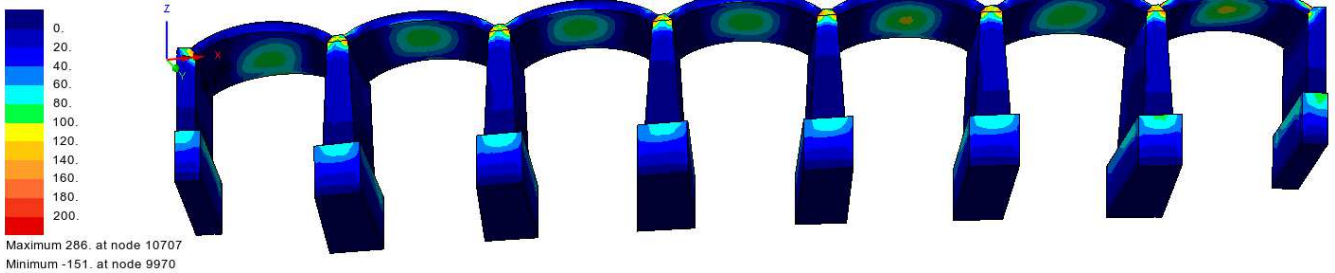
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 31:Loadcase 3, Increment 31 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 36: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

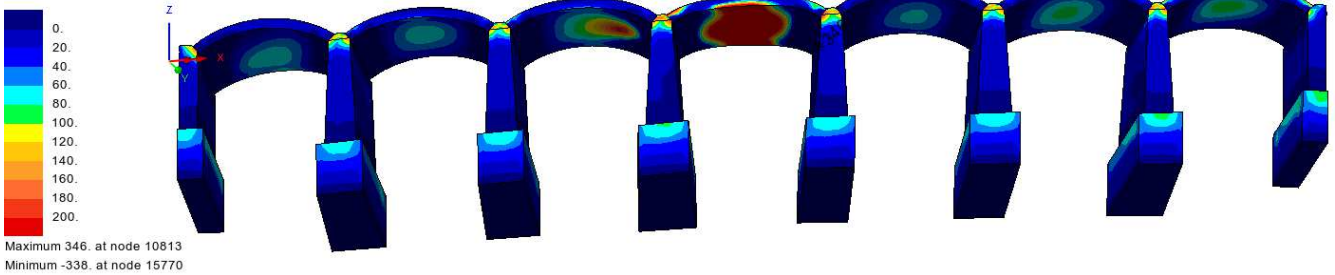
Mappa tensioni S1 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



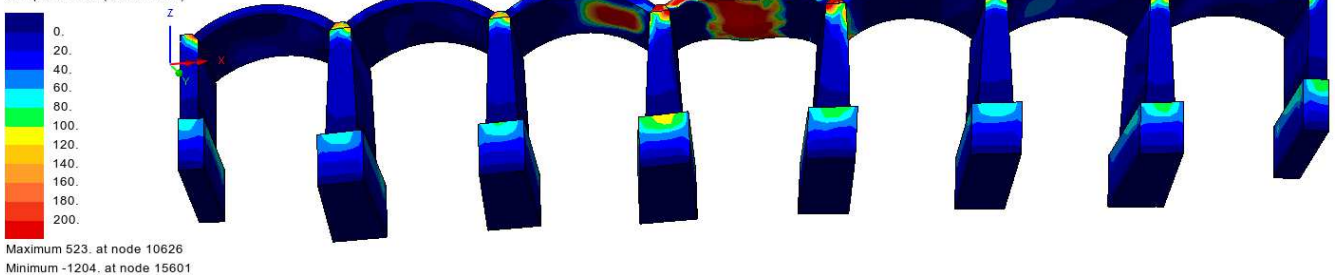
**Figura 37: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 38: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

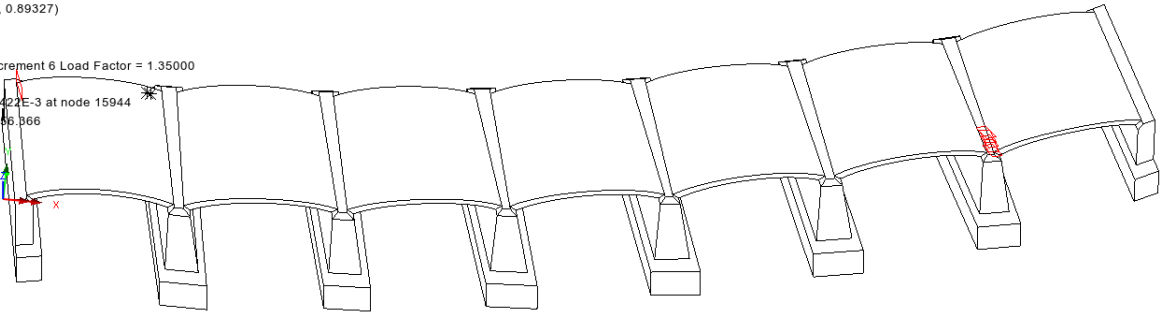
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 31:Loadcase 3, Increment 31 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 39: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

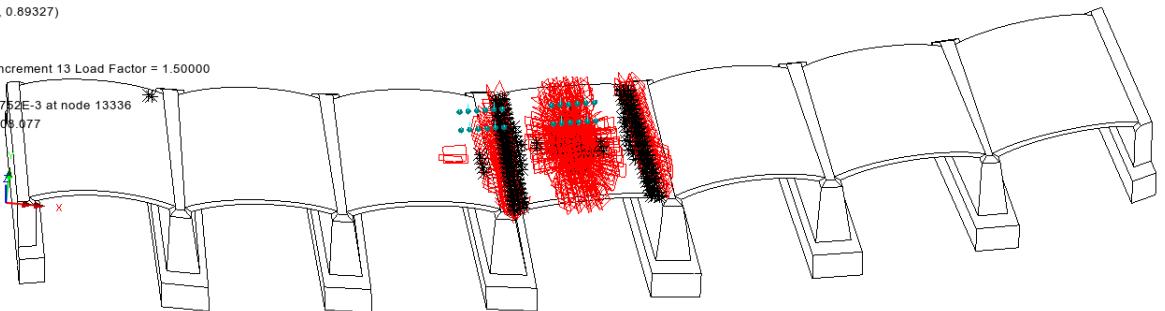
### Crack and crush

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 7.75422E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 356.966



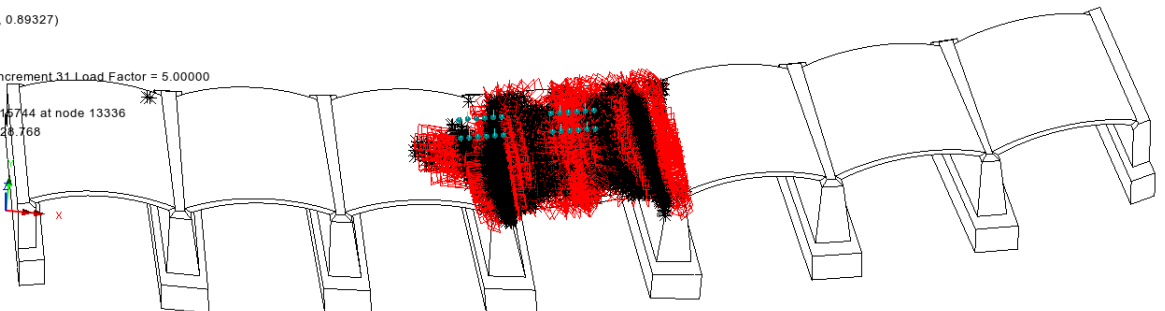
**Figura 40: crack and crush: peso proprio x 1.35**

Scale: 1: 277.809  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-062-M.mys  
Maximum displacement 9.01752E-3 at node 13336  
Deformation exaggeration: 309.077



**Figura 41: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

Scale: 1: 277.809  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 31:Loadcase 3, Increment 31 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-062-M.mys  
Maximum displacement 0.0216744 at node 13336  
Deformation exaggeration: 128.768



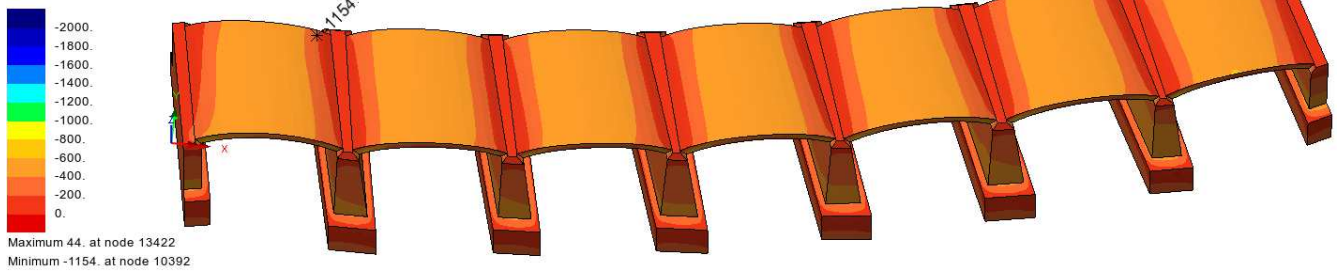
**Figura 42: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**



### 11.1.3 Treno D4 in pos. T3

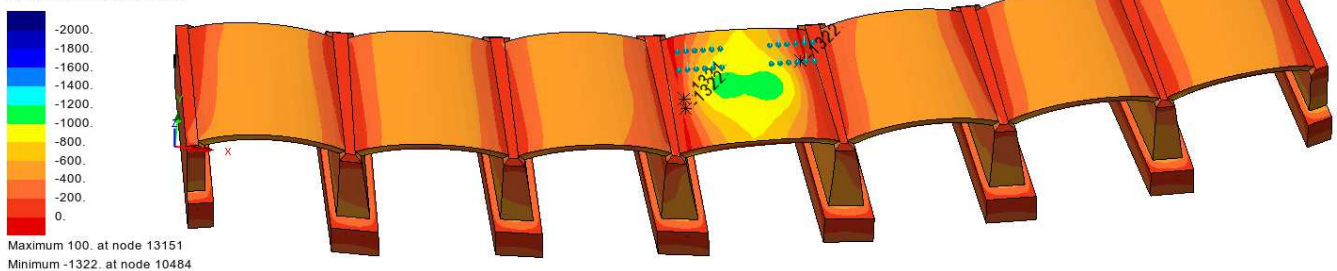
#### Mappa tensioni S3 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



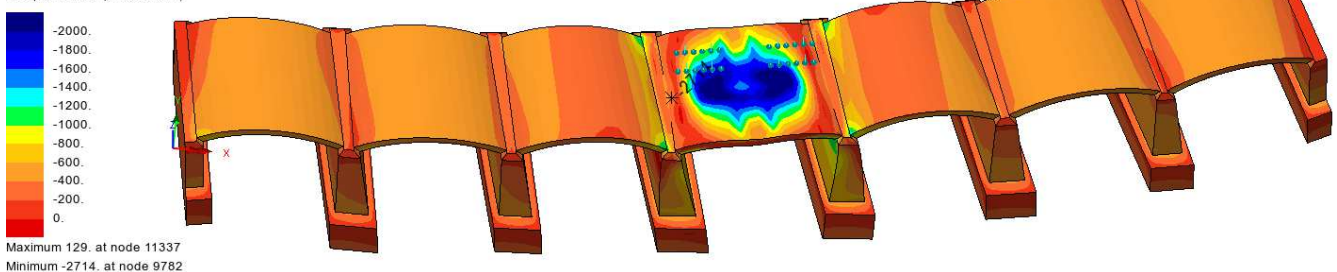
**Figura 43: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 44: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

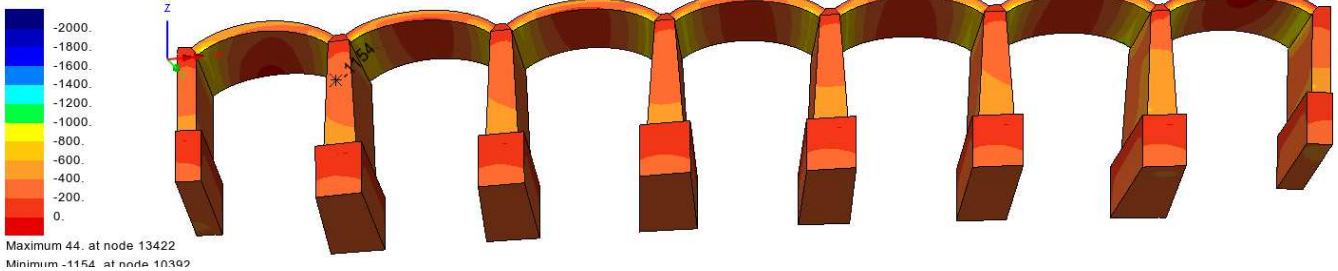
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 29:Loadcase 3, Increment 29 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 45: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

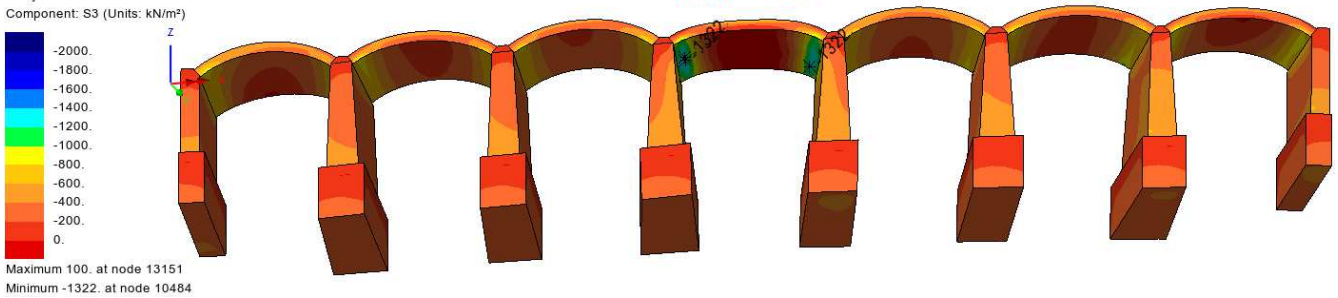
Mappa tensioni S3 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



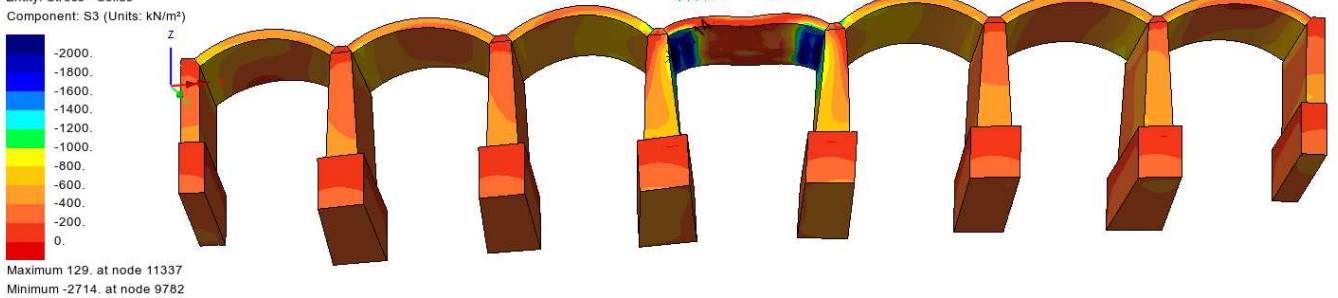
**Figura 46: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 47: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

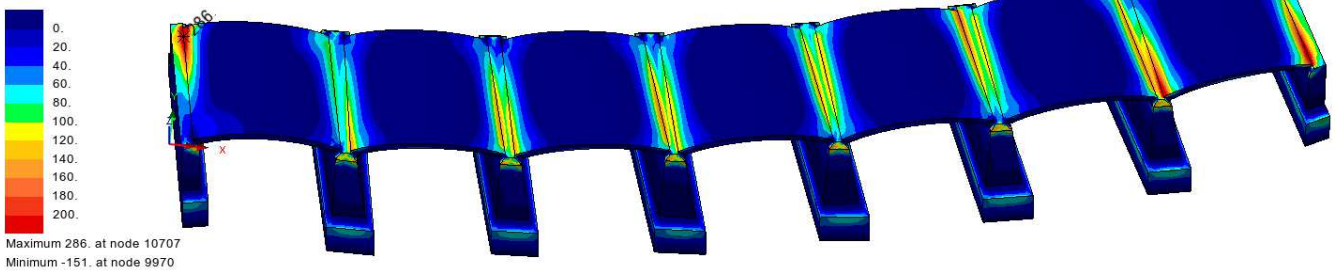
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 29:Loadcase 3, Increment 29 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 48: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

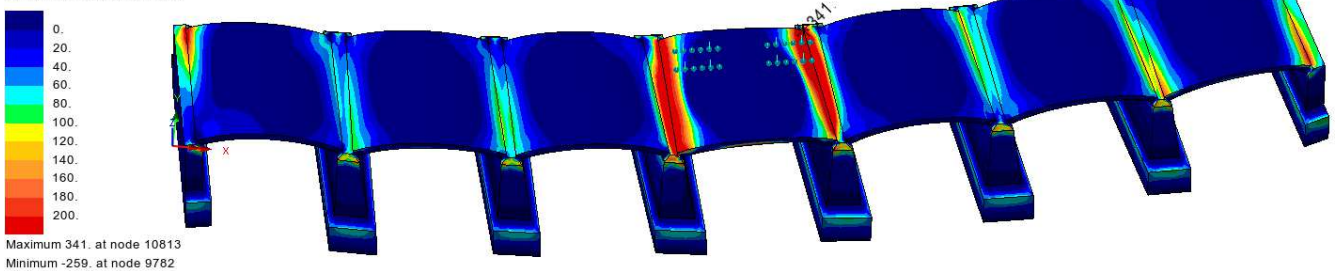
Mappa tensioni S1 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



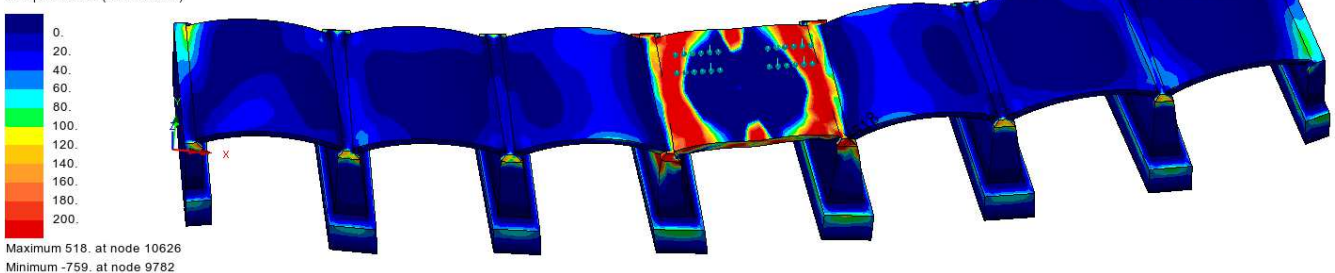
**Figura 49: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 50: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

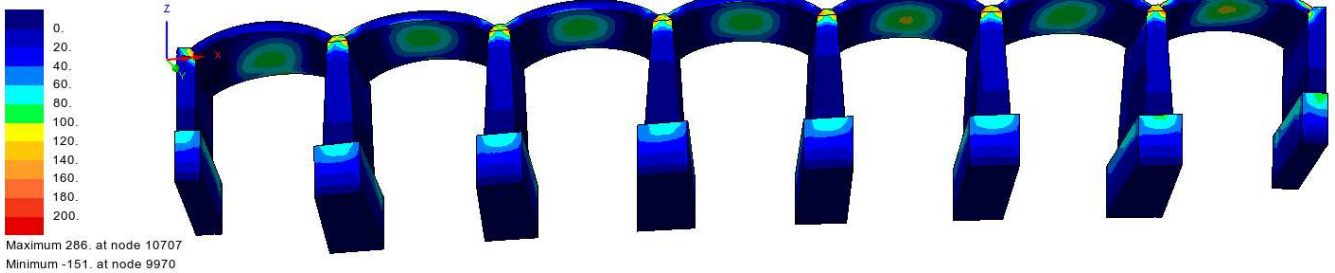
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 29:Loadcase 3, Increment 29 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 51: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

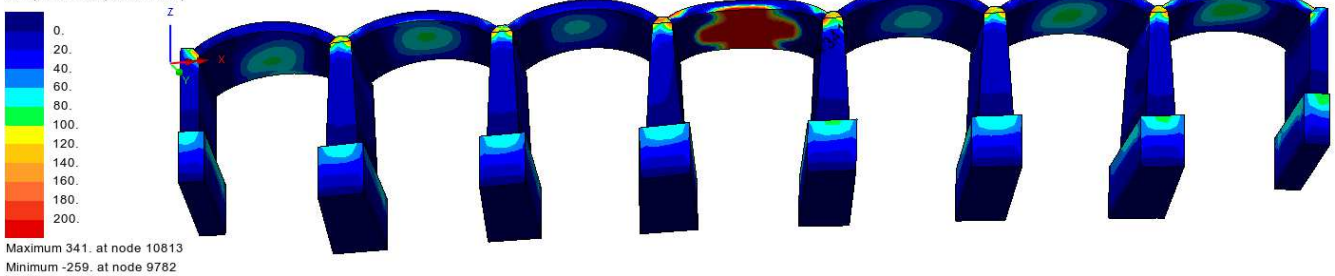
Mappa tensioni S1 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 52: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 53: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

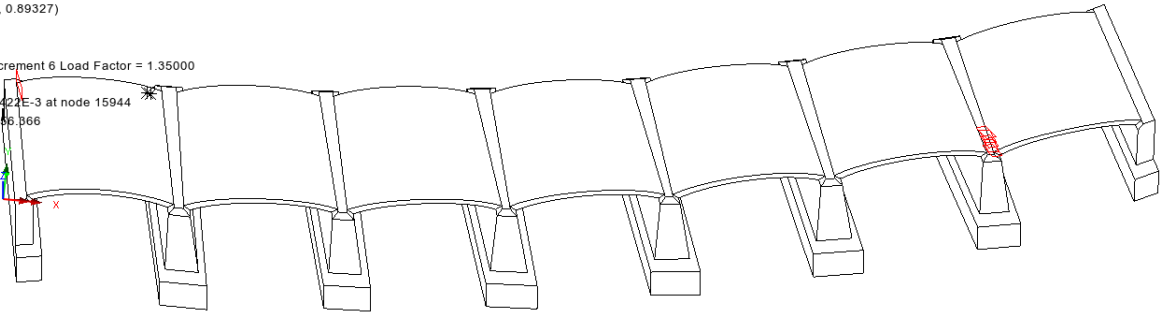
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 29:Loadcase 3, Increment 29 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 54: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

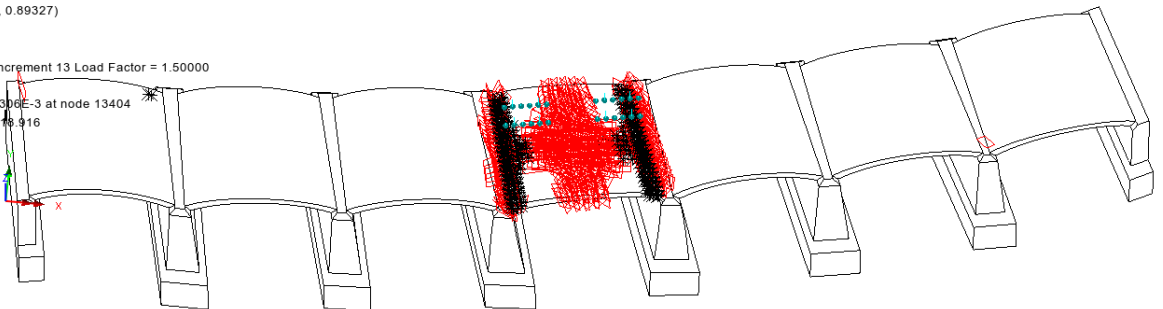
### Crack and crush

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 7.75422E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 356.966



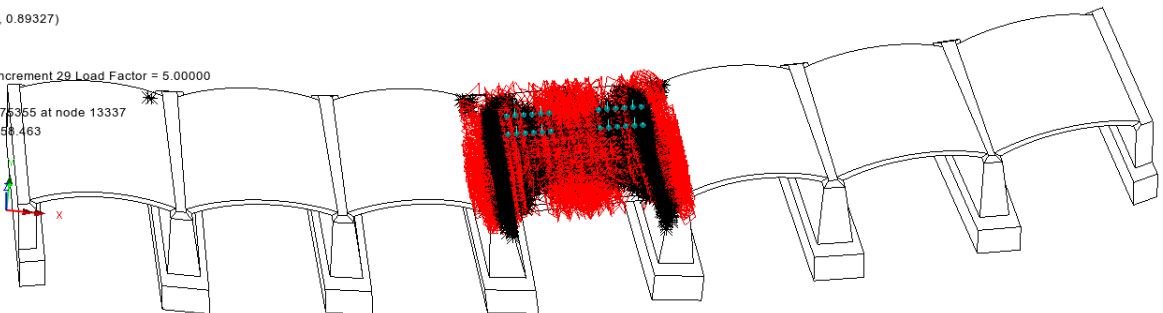
**Figura 55: crack and crush: peso proprio x 1.35**

Scale: 1: 277.873  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-063-M.mys  
Maximum displacement 6.71306E-3 at node 13404  
Deformation exaggeration: 319.916



**Figura 56: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

Scale: 1: 277.873  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 29:Loadcase 3, Increment 29 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-063-M.mys  
Maximum displacement 0.0176365 at node 13337  
Deformation exaggeration: 158.463

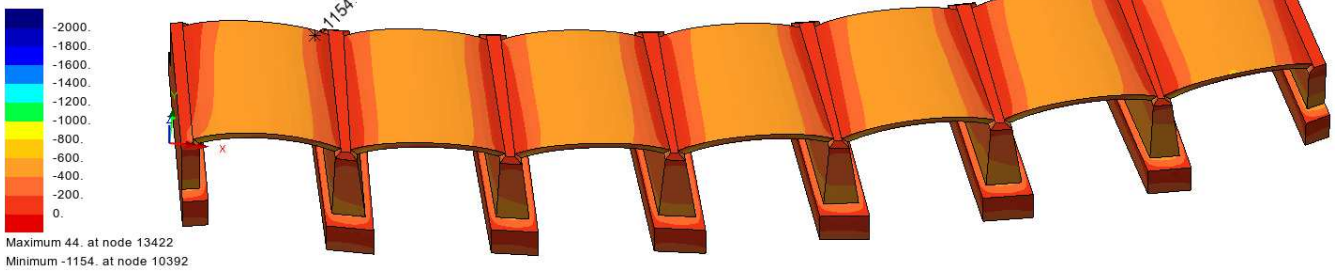


**Figura 57: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

### 11.1.4 Treno D4 in pos. T4

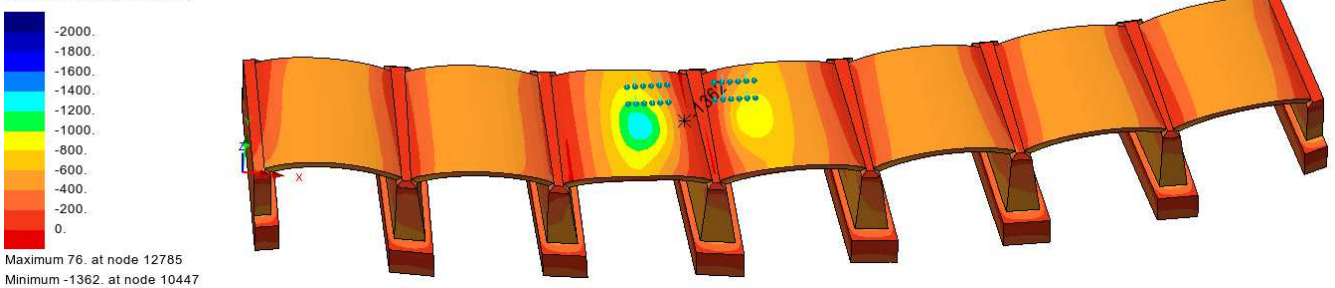
#### Mappa tensioni S3 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



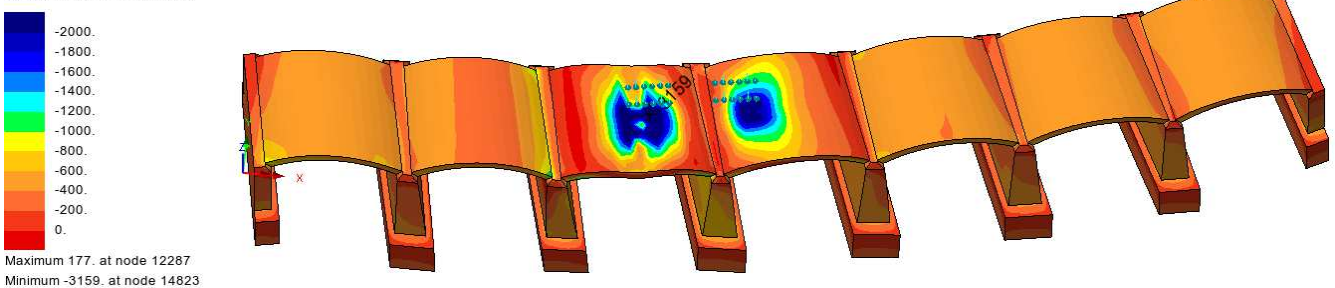
**Figura 58: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 59: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

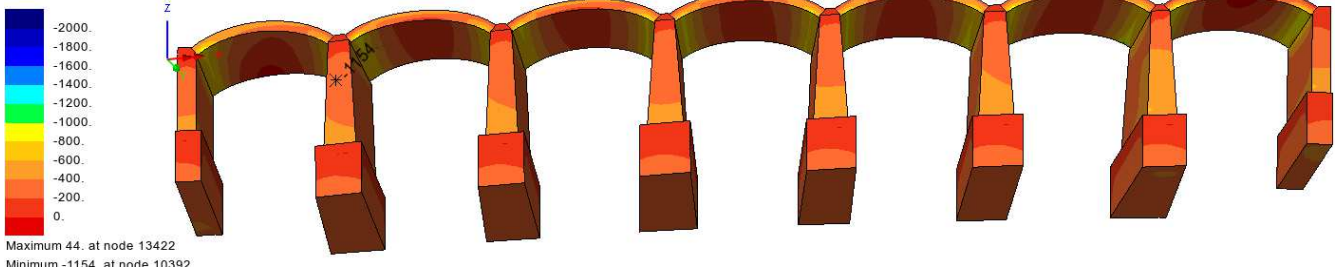
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 35:Loadcase 3, Increment 35 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 60: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

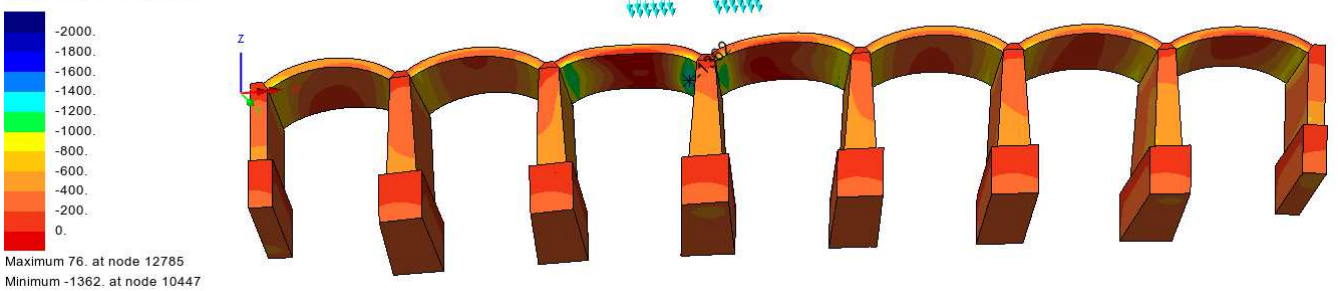
Mapa tensioni S3 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



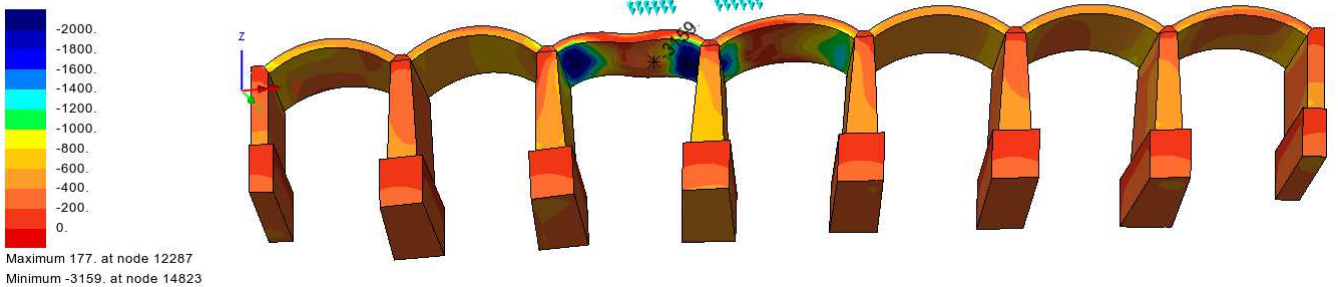
**Figura 61: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 62: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 35:Loadcase 3, Increment 35 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 63: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

### Mappa tensioni S1 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

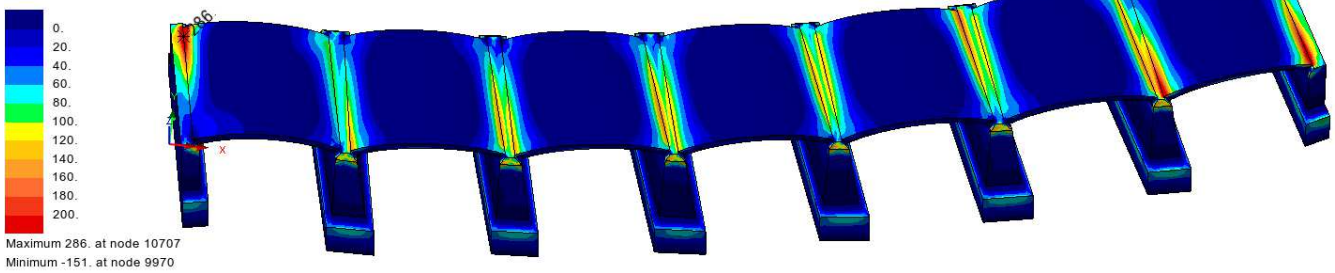


Figura 64: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

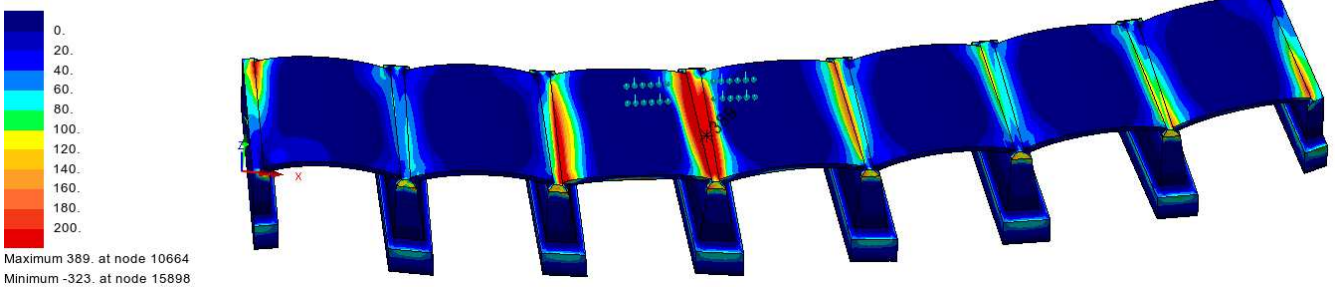


Figura 65: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 35:Loadcase 3, Increment 35 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

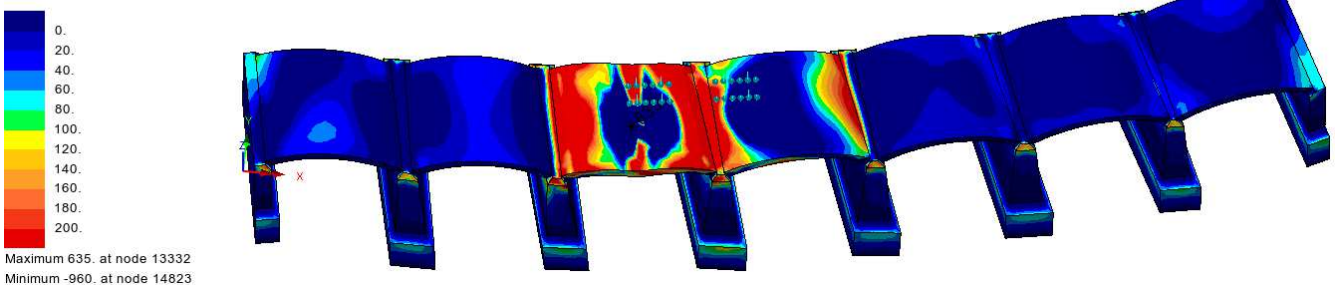
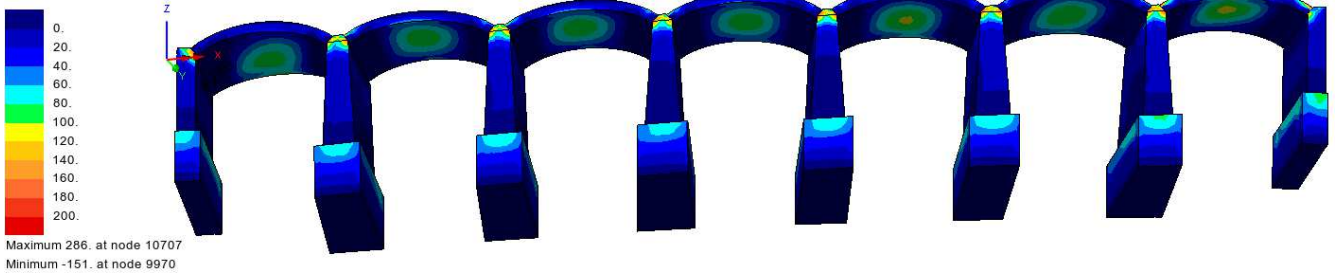


Figura 66: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$



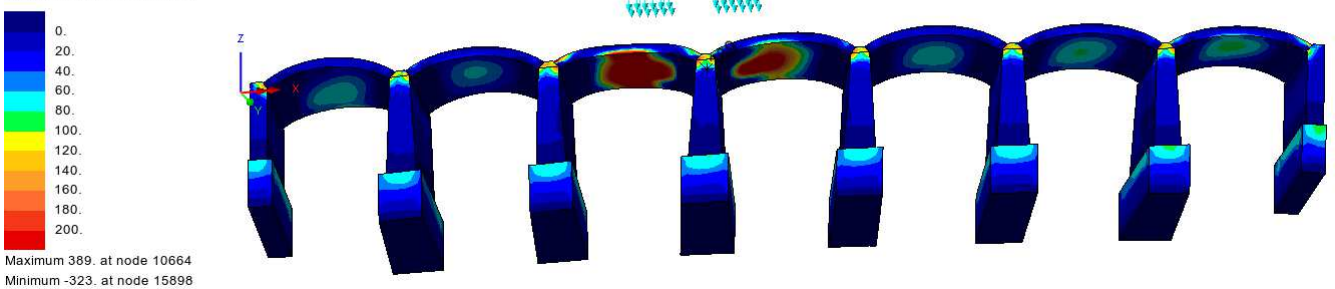
Mappa tensioni S1 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



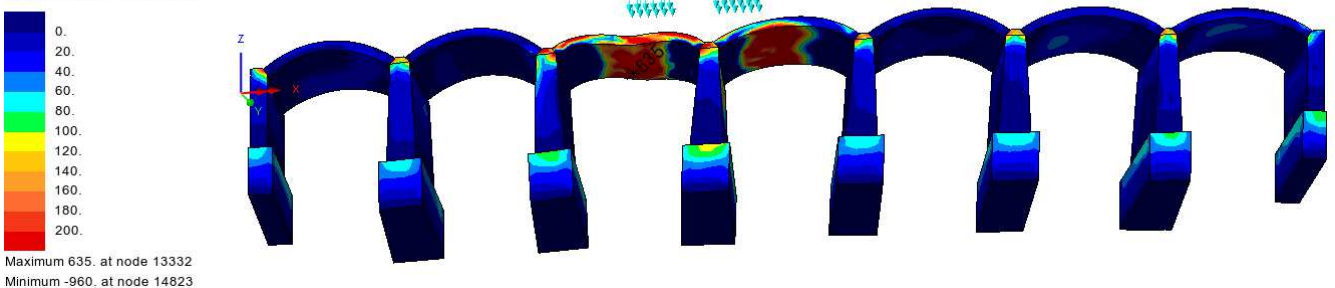
**Figura 67: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 68: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

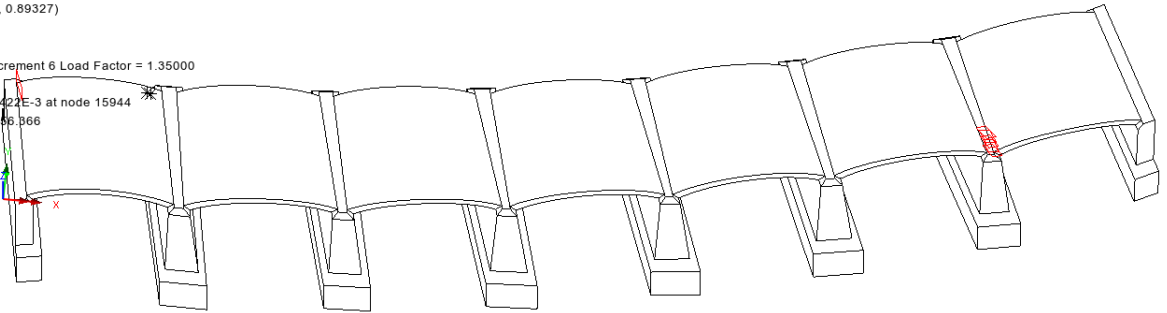
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 35:Loadcase 3, Increment 35 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 69: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

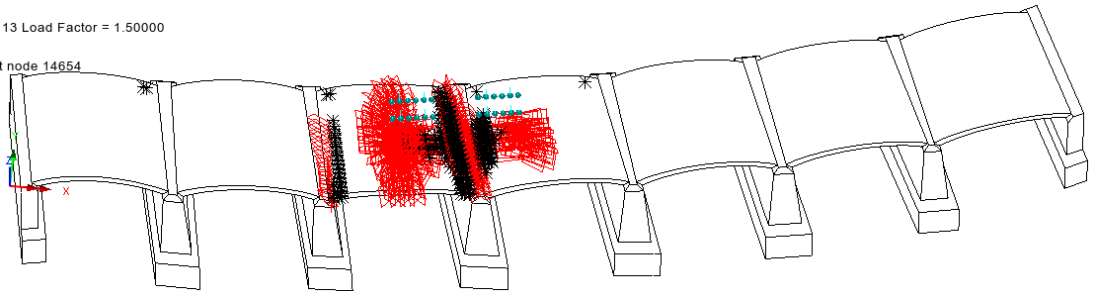
### Crack and crush

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 7.75422E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 356.866



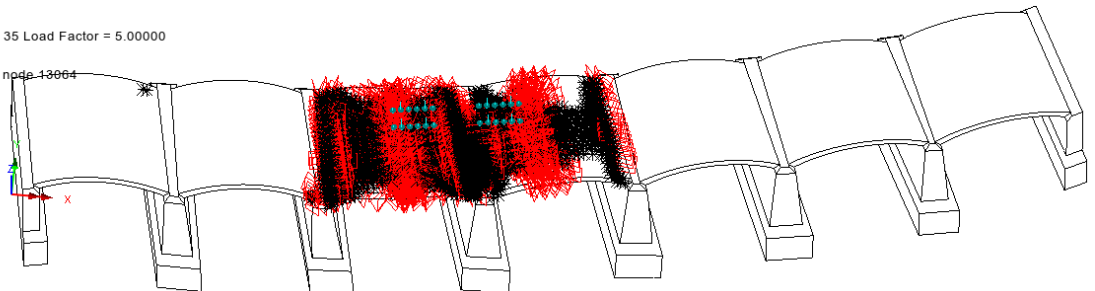
**Figura 70: crack and crush: peso proprio x 1.35**

Scale: 1: 313.279  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-064-M.mys  
Maximum displacement 8.55137E-3 at node 14654  
Deformation exaggeration: 366.35



**Figura 71: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

Scale: 1: 313.279  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 35:Loadcase 3, Increment 35 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-064-M.mys  
Maximum displacement 0.0180446 at node 13664  
Deformation exaggeration: 173.614

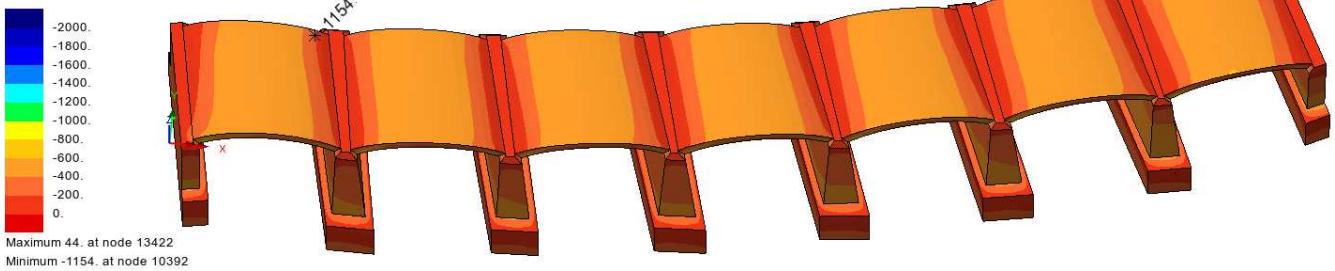


**Figura 72: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

### 11.1.5 Treno D4 in pos. T5

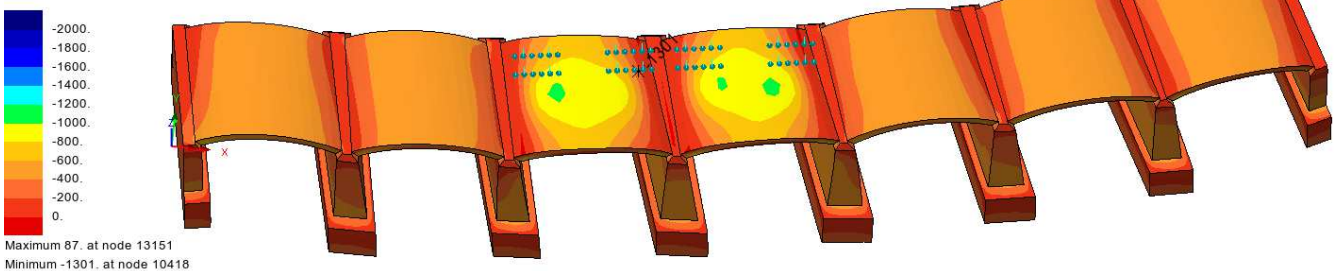
#### Mappa tensioni S3 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6: Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



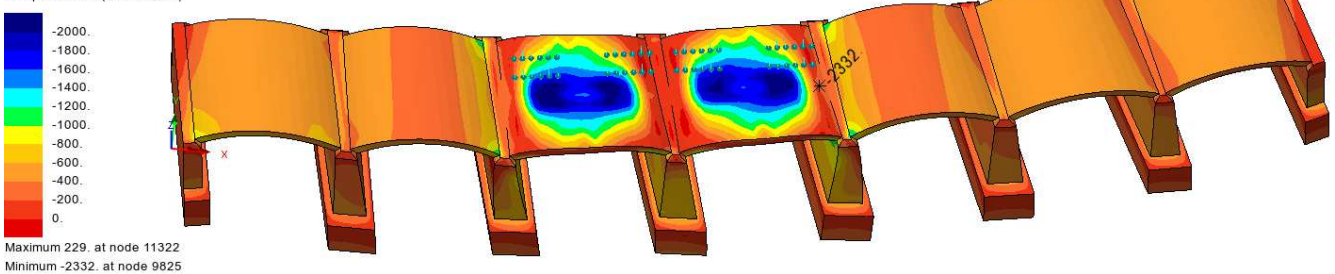
**Figura 73: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13: Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 74: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

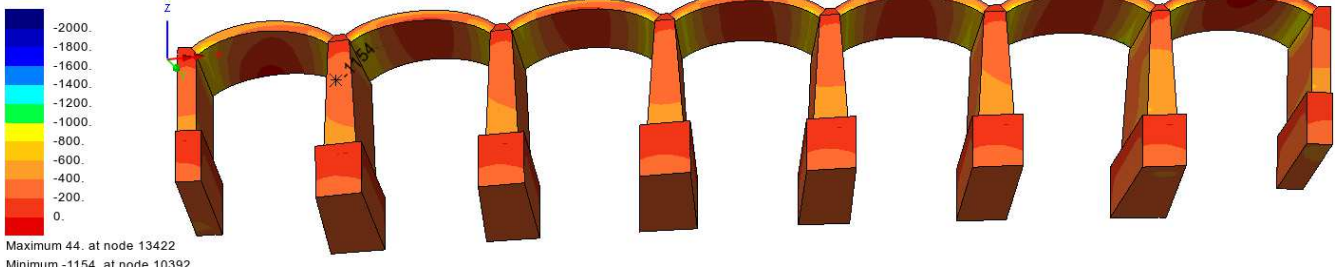
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 37: Loadcase 3, Increment 37 Load Factor = 4.54089  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 75: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

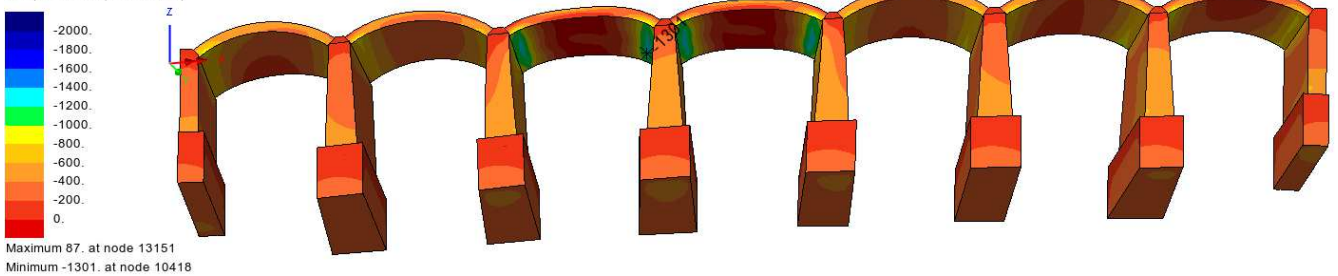
Mappa tensioni S3 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 76: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 77: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

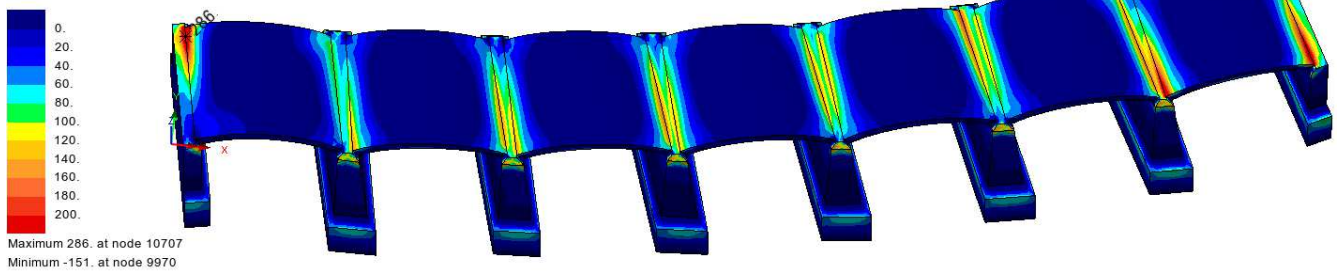
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 37:Loadcase 3, Increment 37 Load Factor = 4.54089  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 78: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

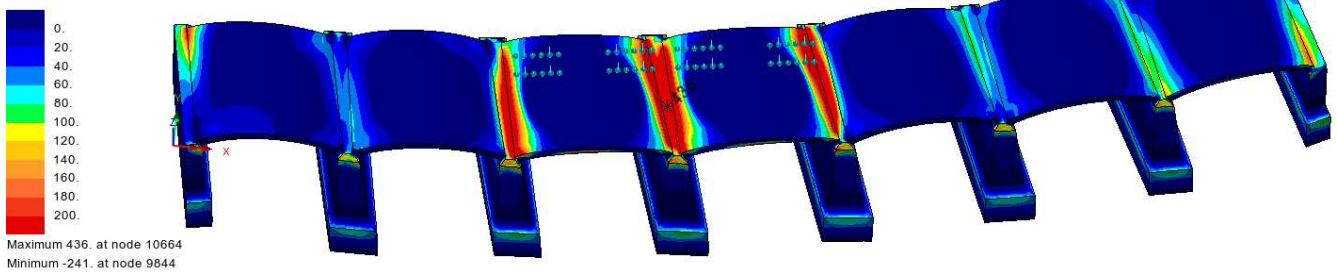
Mapa tensioni S1 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



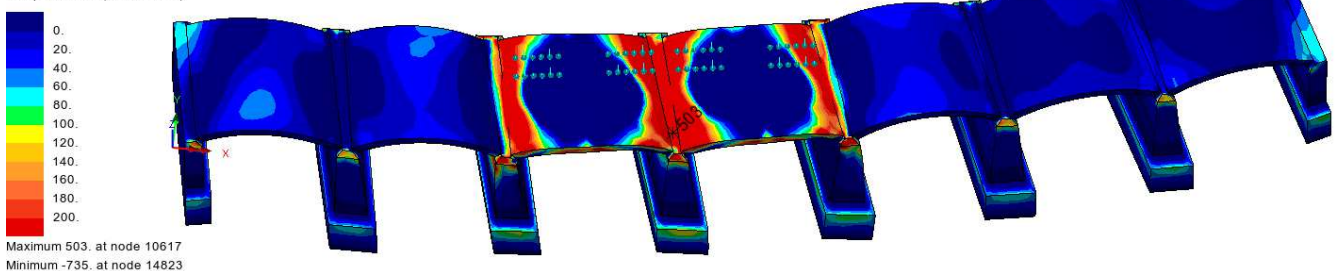
**Figura 79: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 80: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

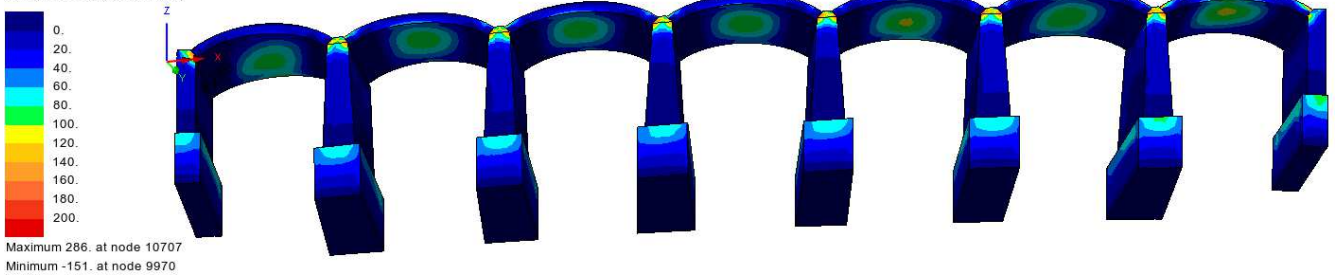
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 37:Loadcase 3, Increment 37 Load Factor = 4.54089  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 81: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

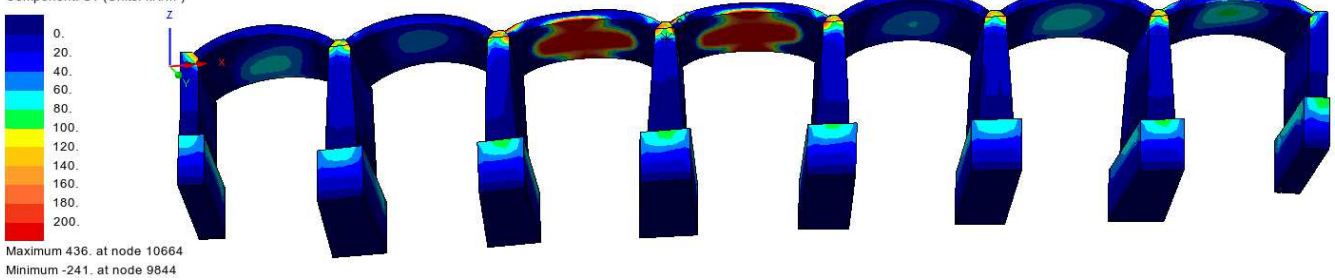
Mappa tensioni S1 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



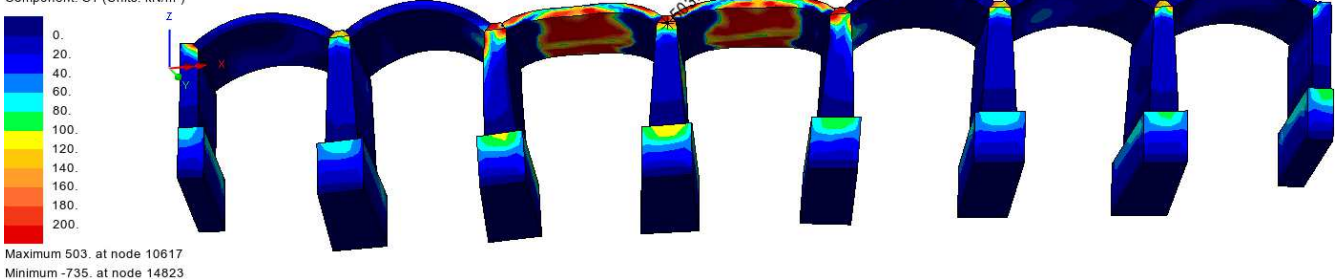
**Figura 82: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 83: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

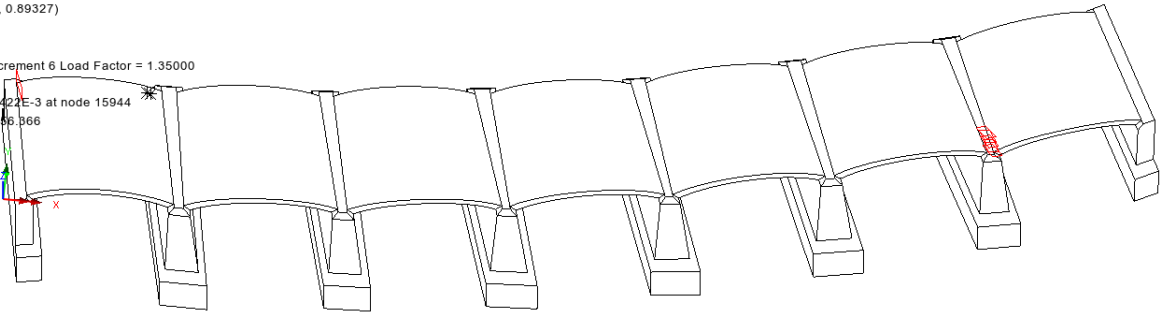
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 37:Loadcase 3, Increment 37 Load Factor = 4.54089  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 84: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

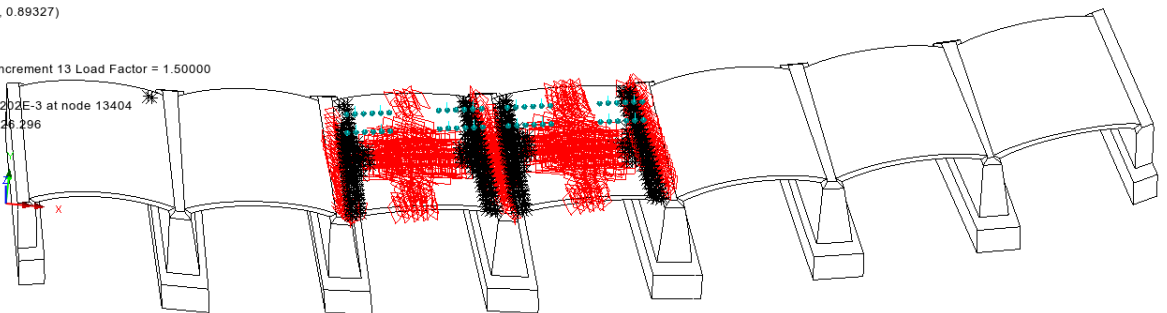
### Crack and crush

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 7.75422E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 356.966



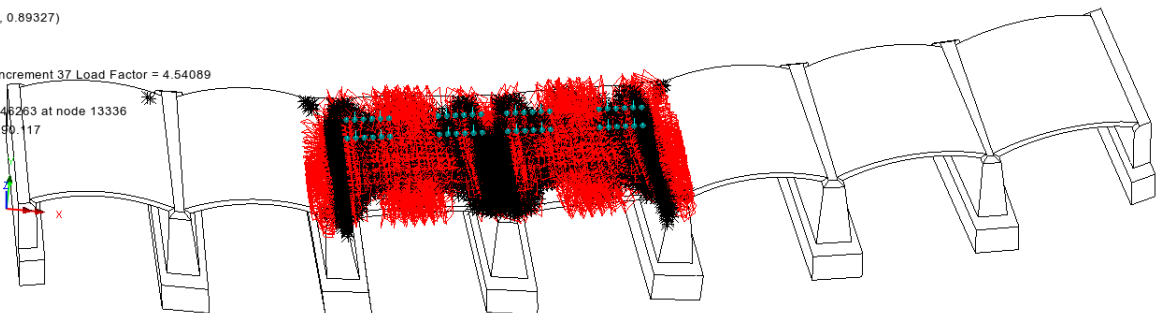
**Figura 85: crack and crush: peso proprio x 1.35**

Scale: 1: 278.07  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-065-M.mys  
Maximum displacement 8.52202E-3 at node 13404  
Deformation exaggeration: 326.296



**Figura 86: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x 1.5**

Scale: 1: 278.07  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 37:Loadcase 3, Increment 37 Load Factor = 4.54089  
Results file: OF-065-M.mys  
Maximum displacement 0.0146263 at node 13336  
Deformation exaggeration: 190.117



**Figura 87: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno x  $\alpha_{ult}$**

### 11.1.6 Vento a ponte scarico

#### Mappa tensioni S3 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 4:Loadcase 1, Increment 4 Load Factor = 1.00000  
Results file: OF-066-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

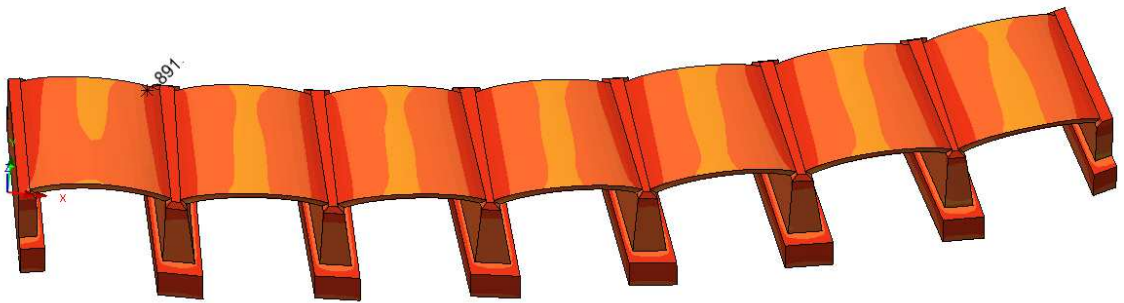
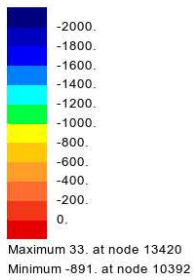


Figura 88: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.0

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 11:Loadcase 3, Increment 11 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-066-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

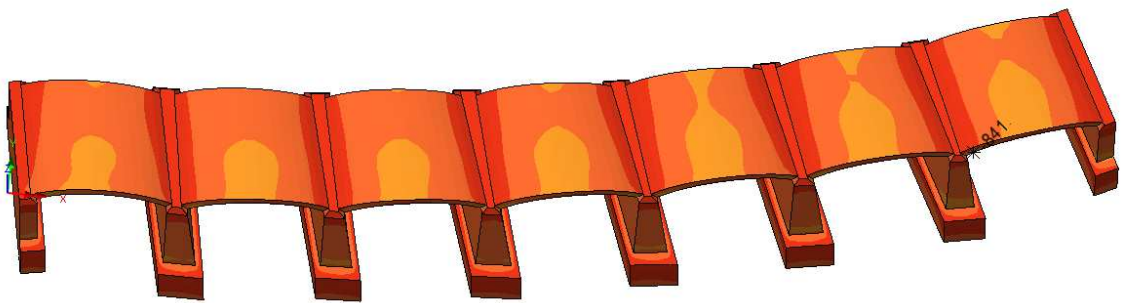
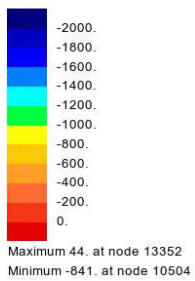


Figura 89: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.0 + vento x 1.5

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 25:Loadcase 3, Increment 25 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-066-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

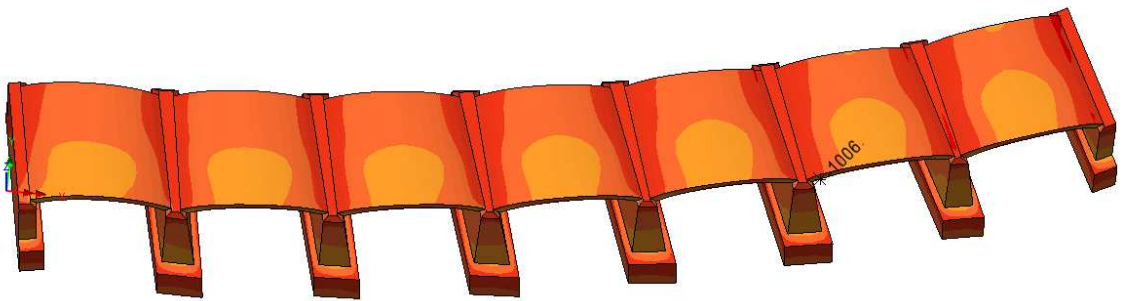
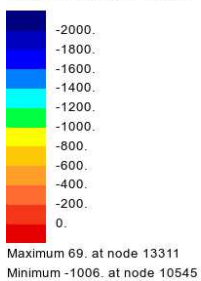
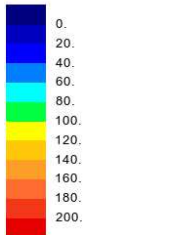


Figura 90: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.0 + vento x  $\alpha_{ult}$

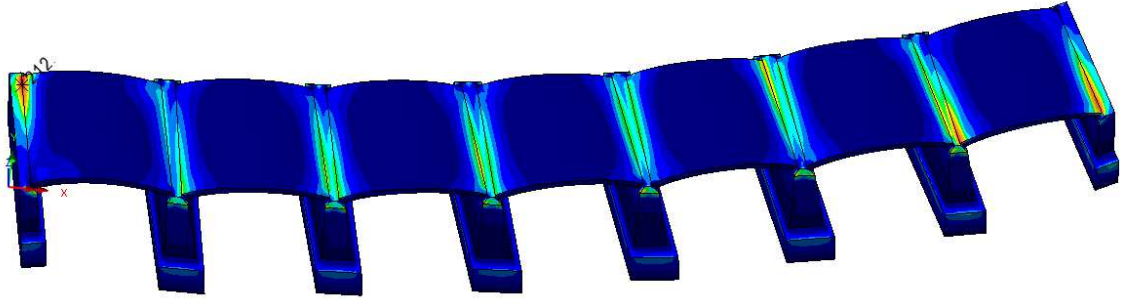


Mappa tensioni S1 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 4:Loadcase 1, Increment 4 Load Factor = 1.00000  
Results file: OF-066-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



Maximum 212. at node 10707  
Minimum -112. at node 9970

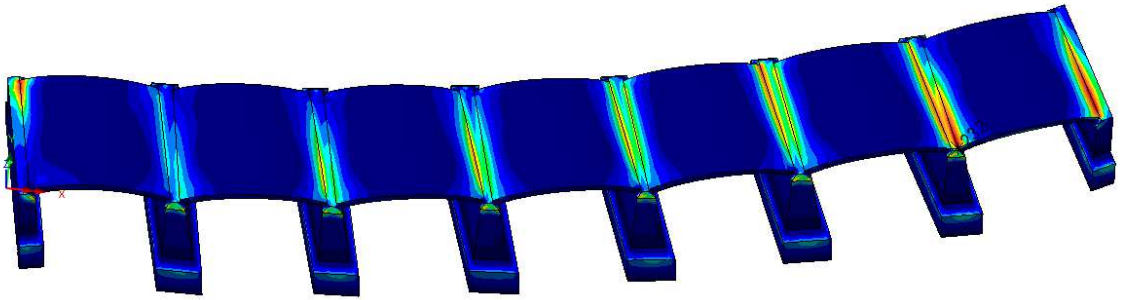


**Figura 91: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.0**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 11:Loadcase 3, Increment 11 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-066-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

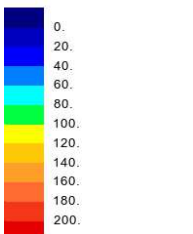


Maximum 232. at node 10776  
Minimum -123. at node 9964

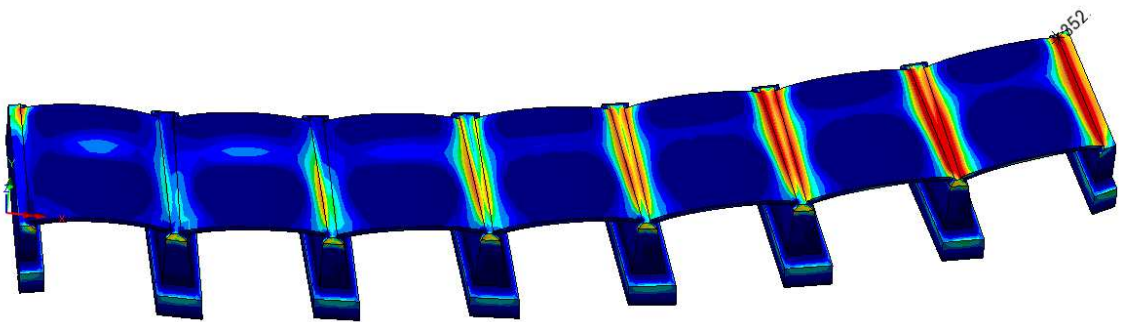


**Figura 92: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.0 + vento x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 25:Loadcase 3, Increment 25 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-066-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



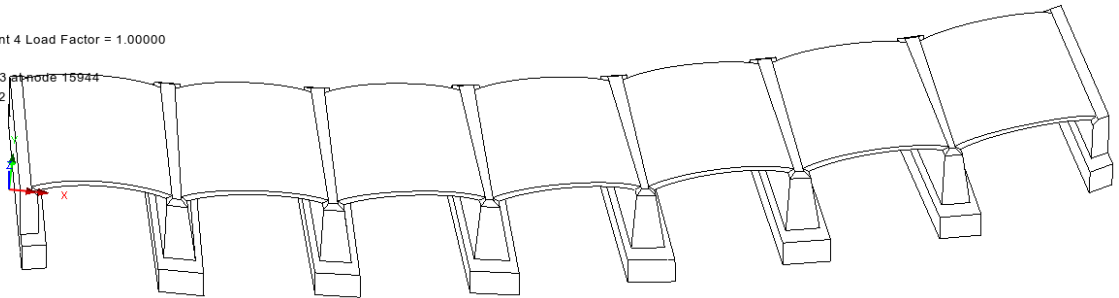
Maximum 352. at node 10903  
Minimum -147. at node 9956



**Figura 93: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.0 + vento x  $\alpha_{ult}$**

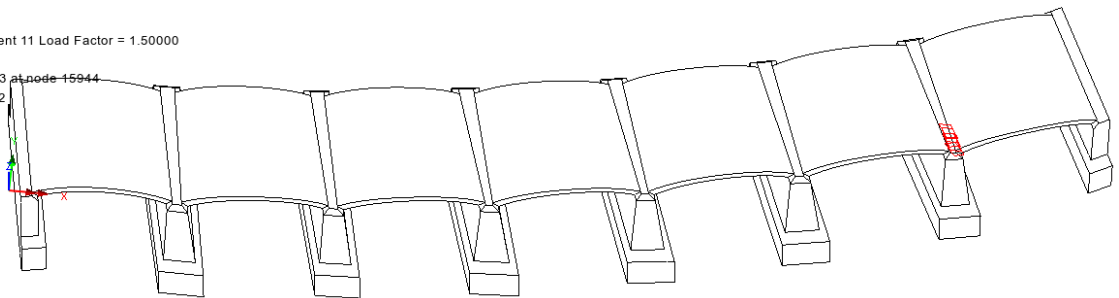
### Crack and crush

Scale: 1: 300.318  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 4:Loadcase 1, Increment 4 Load Factor = 1.00000  
Results file: OF-066-M.mys  
Maximum displacement 5.74395E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 522.842



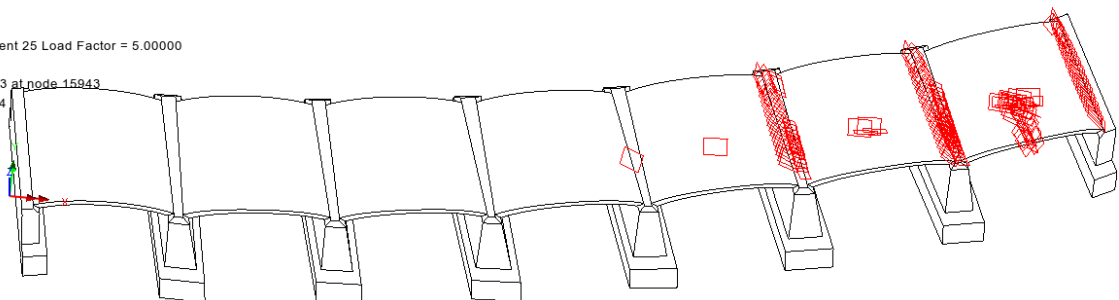
**Figura 94: crack and crush: peso proprio x 1.0**

Scale: 1: 300.318  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 11:Loadcase 3, Increment 11 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-066-M.mys  
Maximum displacement 6.44291E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 466.122



**Figura 95: crack and crush: peso proprio x 1.0 + vento x 1.5**

Scale: 1: 300.318  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 25:Loadcase 3, Increment 25 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-066-M.mys  
Maximum displacement 8.37558E-3 at node 15943  
Deformation exaggeration: 358.564

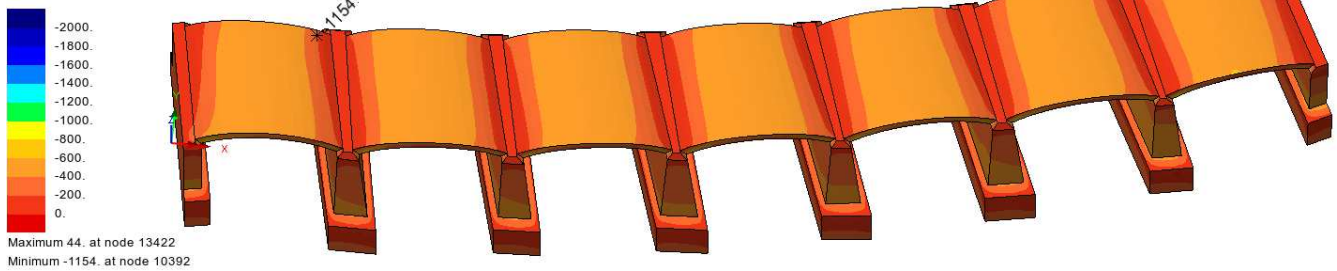


**Figura 96: crack and crush: peso proprio x 1.0 + vento x  $\alpha_{ult}$**

### 11.1.7 Frenatura

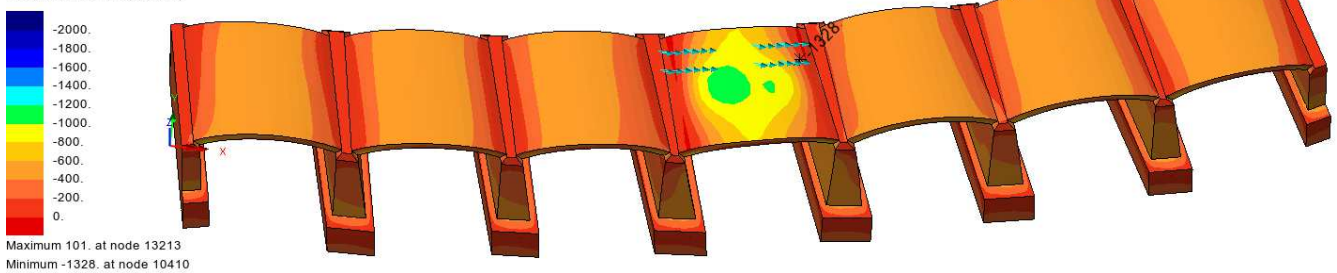
#### Mappa tensioni S3 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6: Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



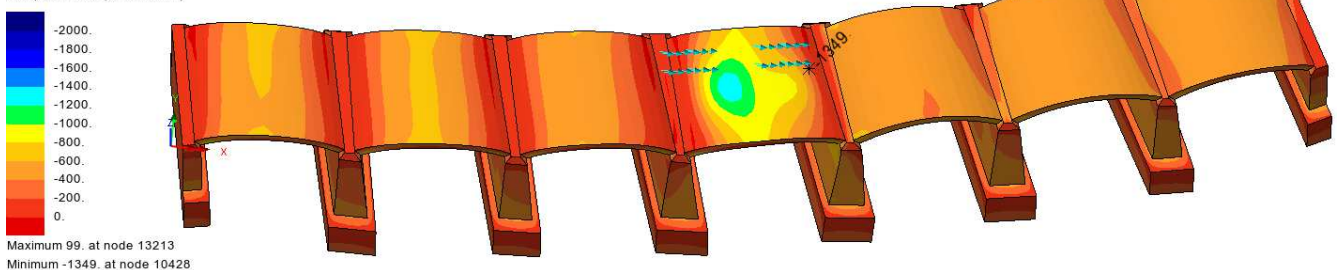
**Figura 97: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 20: Loadcase 5, Increment 20 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-067-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 98: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x 1.5**

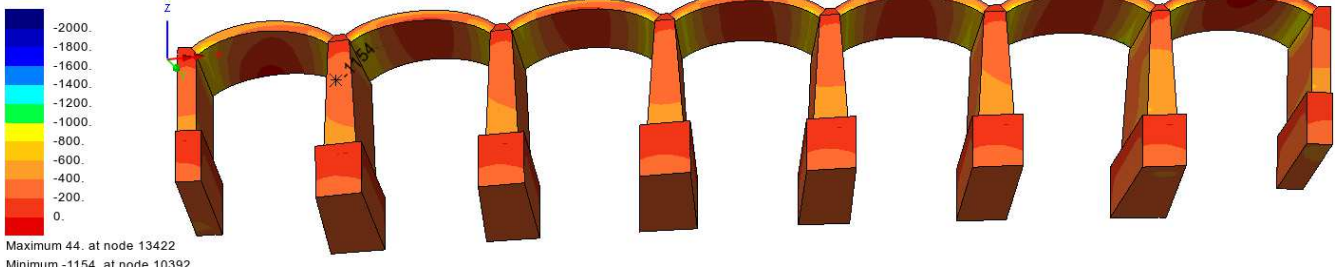
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 34: Loadcase 5, Increment 34 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-067-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 99: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x  $\alpha_{ult}$**

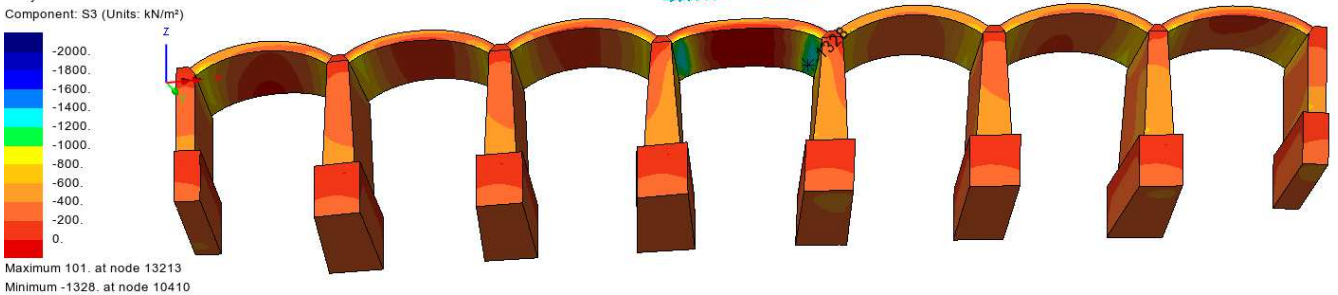
Mappa tensioni S3 con vista dal basso

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



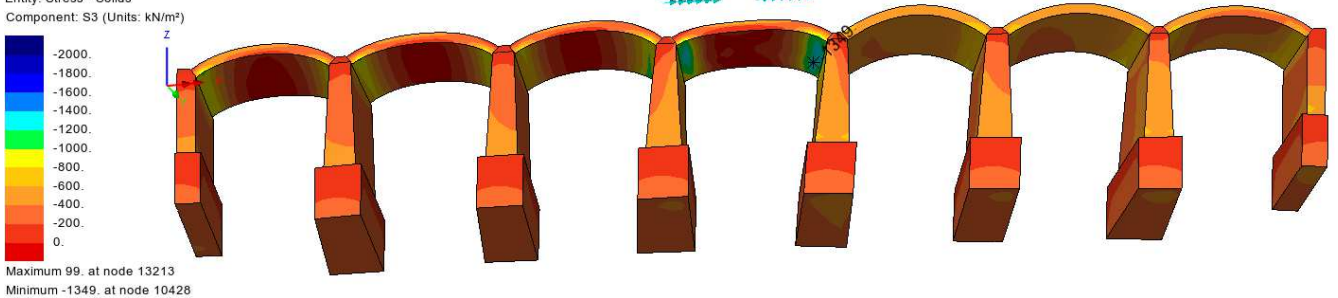
**Figura 100: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 20:Loadcase 5, Increment 20 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-067-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 101: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x 1.5**

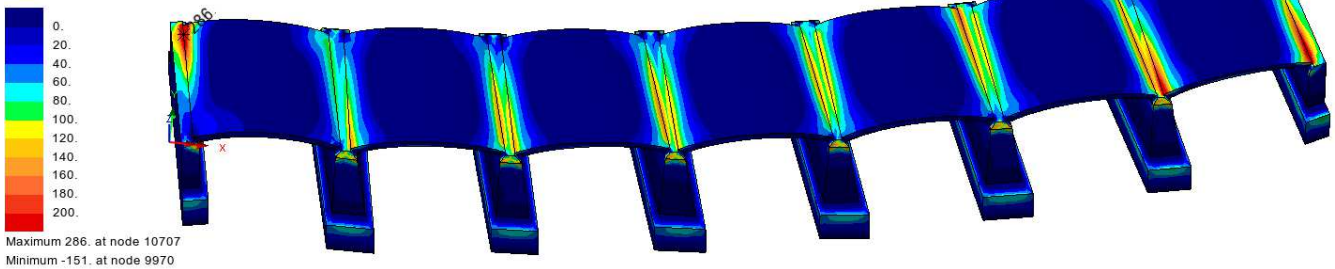
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 34:Loadcase 5, Increment 34 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-067-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S3 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



**Figura 102: mappa tensioni S3: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x  $\alpha_{ult}$**

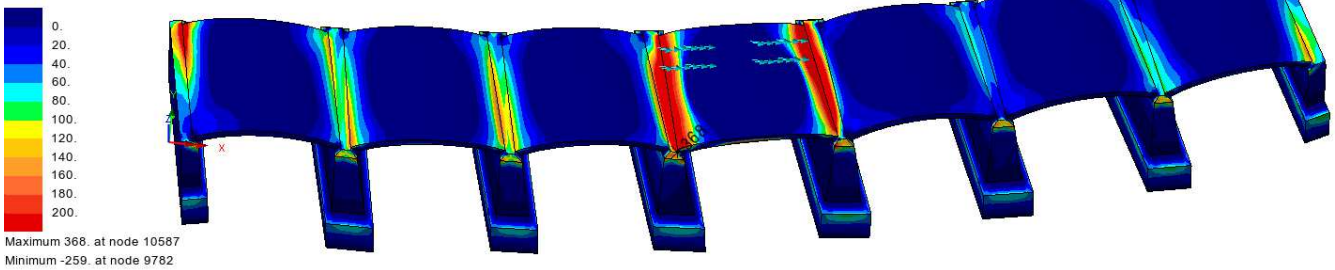
Mapa tensioni S1 con vista dall'alto

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



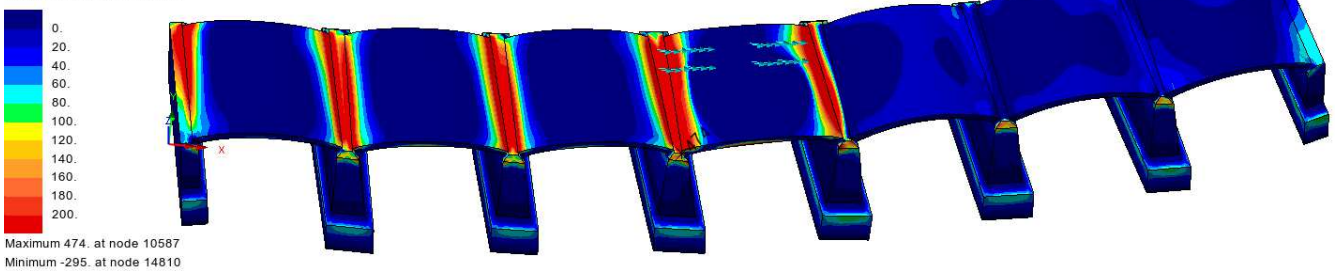
**Figura 103: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 20:Loadcase 5, Increment 20 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-067-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)



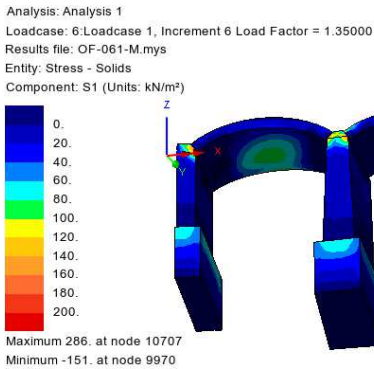
**Figura 104: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 34:Loadcase 5, Increment 34 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-067-M.mys  
Entity: Stress - Solids  
Component: S1 (Units: kN/m<sup>2</sup>)

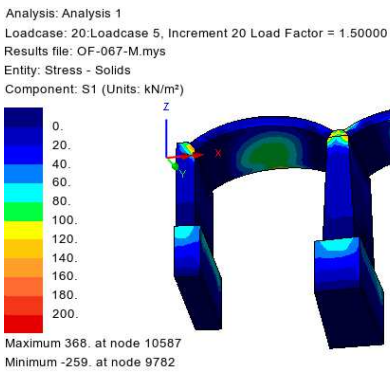


**Figura 105: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x  $\alpha_{ult}$**

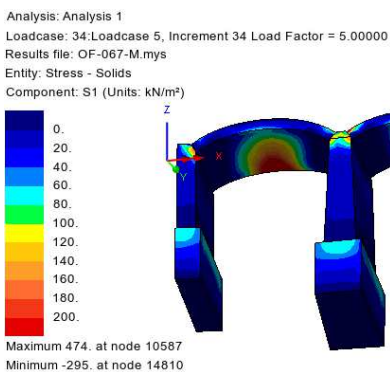
Mapa tensioni S1 con vista dal basso



**Figura 106: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35**



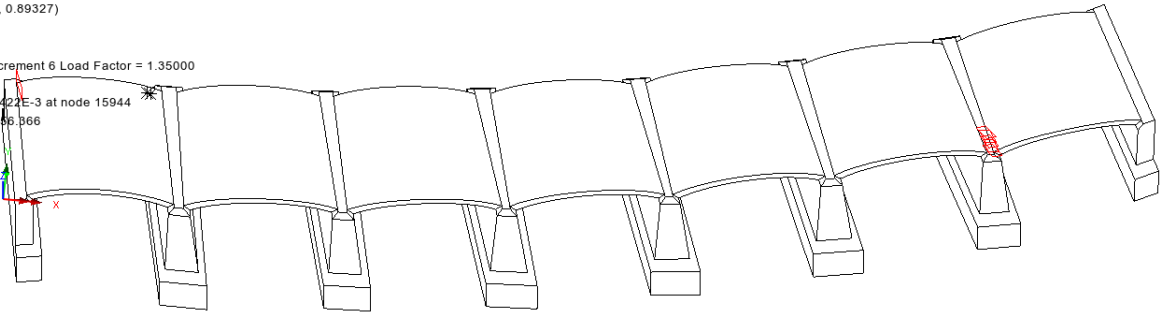
**Figura 107: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x 1.5**



**Figura 108: mappa tensioni S1: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x  $\alpha_{ult}$**

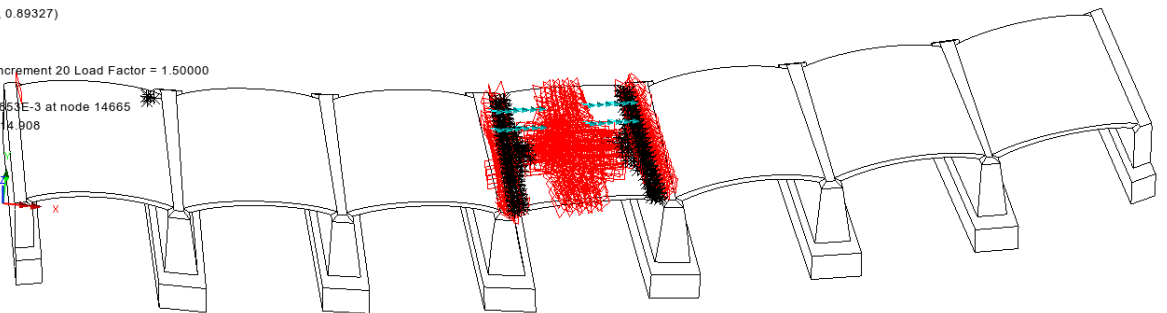
### Crack and crush

Scale: 1: 276.334  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Maximum displacement 7.75422E-3 at node 15944  
Deformation exaggeration: 356.966



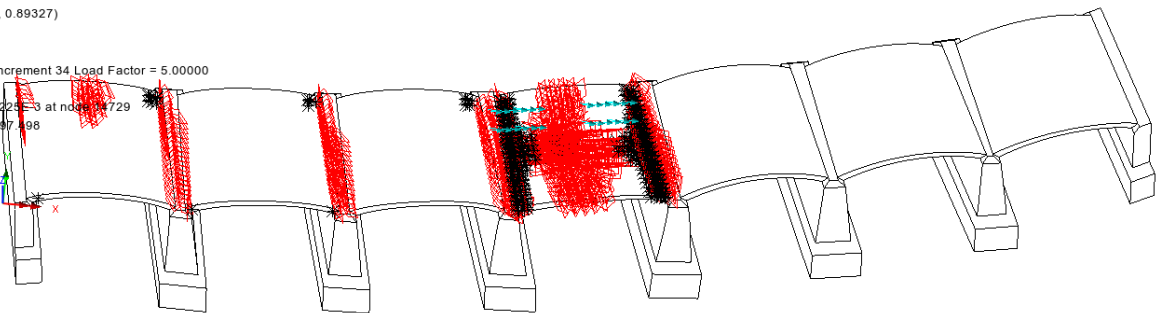
**Figura 109: crack and crush: peso proprio x 1.35**

Scale: 1: 276.443  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 20:Loadcase 5, Increment 20 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-067-M.mys  
Maximum displacement 8.77853E-3 at node 14665  
Deformation exaggeration: 314.908



**Figura 110: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x 1.5**

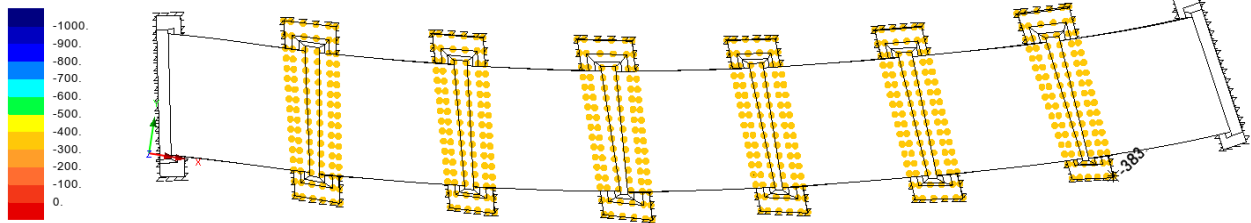
Scale: 1: 276.443  
Zoom: 100.0  
Eye: (0.0448685, -0.447275, 0.89327)  
Nonlinear analysis  
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 34:Loadcase 5, Increment 34 Load Factor = 5.00000  
Results file: OF-067-M.mys  
Maximum displacement 9.29225E-3 at node 14729  
Deformation exaggeration: 297.198



**Figura 111: crack and crush: peso proprio x 1.35 + treno in pos.T3 x 1.5 + frenatura x  $\alpha_{ult}$**

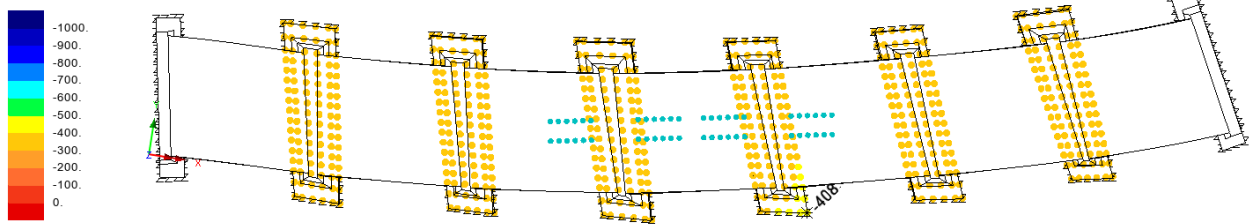
### 11.1.8 Pressioni sul terreno

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 6:Loadcase 1, Increment 6 Load Factor = 1.35000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4,JL43)  
Component: pressione



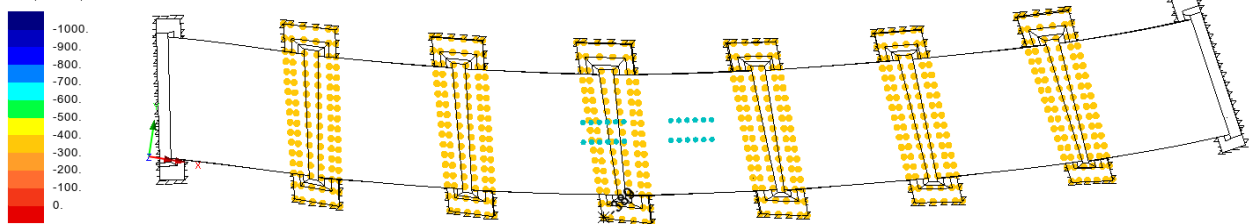
**Figura 112: peso proprio x 1.35**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-061-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4,JL43)  
Component: pressione



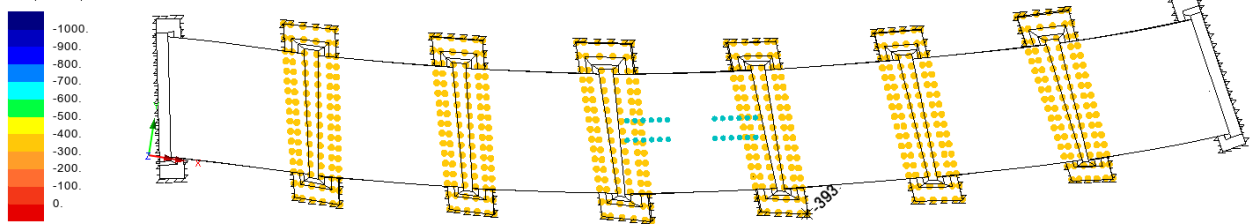
**Figura 113: peso proprio x 1.35 + treno D4 in pos. T1 x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-062-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4,JL43)  
Component: pressione



**Figura 114: peso proprio x 1.35 + treno D4 in pos. T2 x 1.5**

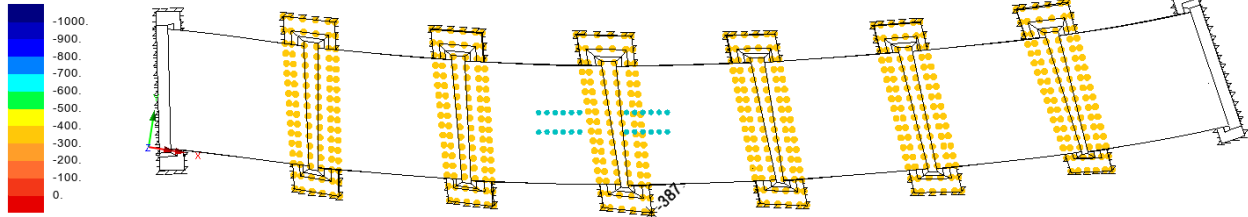
Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13:Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-063-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4,JL43)  
Component: pressione



**Figura 115: peso proprio x 1.35 + treno D4 in pos. T3 x 1.5**

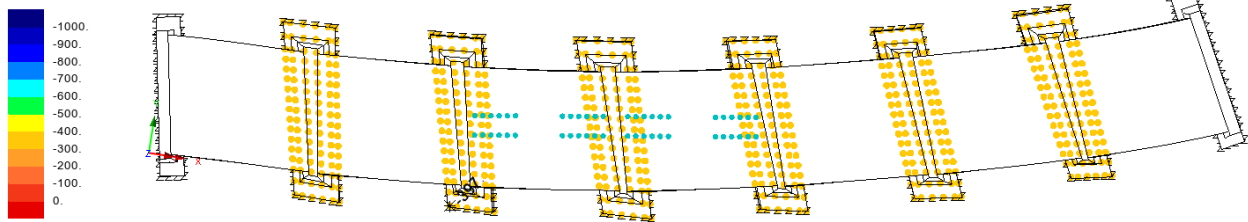


Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13: Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-064-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4\_JL43)  
Component: pressione



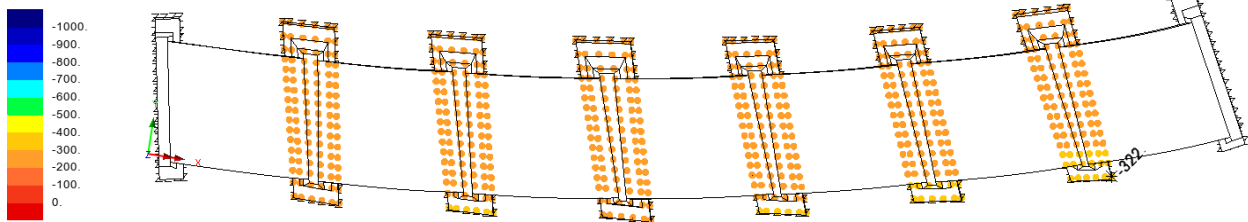
**Figura 116: peso proprio x 1.35 + treno D4 in pos. T4 x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13: Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-065-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4\_JL43)  
Component: pressione



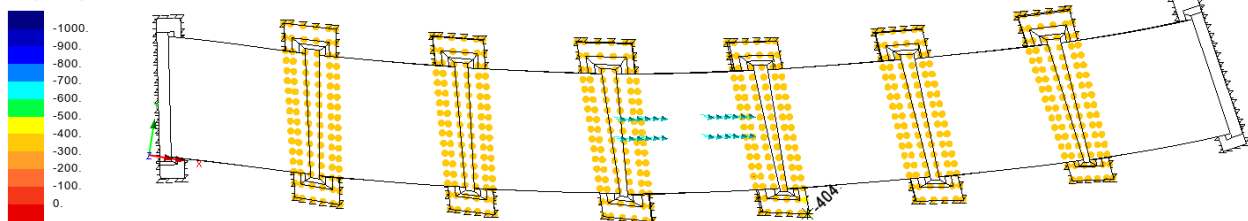
**Figura 117: peso proprio x 1.35 + treno D4 in pos. T5 x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 13: Loadcase 3, Increment 13 Load Factor = 2.00000  
Results file: OF-066-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4\_JL43)  
Component: pressione



**Figura 118: peso proprio x 1.0 + vento x 1.5**

Analysis: Analysis 1  
Loadcase: 20: Loadcase 5, Increment 20 Load Factor = 1.50000  
Results file: OF-067-M.mys  
Entity: Strain - 3D Joint (JNT4\_JL43)  
Component: pressione



**Figura 119: peso proprio x 1.35 + treno D4 in pos. T3 x 1.5 + frenatura x 1.5**



LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE

PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO
IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	74 di 78

### 11.1.9 Verifica geotecnica fondazione

Nel presente paragrafo viene riportata la verifica della capacità portante delle fondazioni. La verifica a scorrimento perde di significato in quanto i plinti sono profondi e beneficiano della resistenza del terreno laterale. Inoltre, le forze orizzontali in gioco sono nettamente inferiori rispetto al notevole peso proveniente dall'elevazione.

In linea generale, la maggior parte dei plinti dei ponti oggetto di studio all'interno della tratta, presenta un elevato spessore di ricoprimento il quale, delle volte, raggiunge anche l'estremità superiore della pila.

La verifica della capacità portante è stata tuttavia effettuata, in favore di sicurezza, trascurando il contributo benefico di tale ricoprimento, e considerando come spessore del terreno laterale solo quello relativo all'altezza del plinto stesso. Tale scelta è stata effettuata nell'ottica di dimostrare la bontà delle fondazioni all'epoca della costruzione del ponte, quando sicuramente tutto quel riempimento non era presente, e di dimostrare inoltre che tale riempimento non è strettamente necessario ai fini della resistenza, vista la situazione che si potrebbe avere quando parte di quel riempimento sarà scavato al fine di permettere le lavorazioni di manutenzione ordinaria delle elevazioni.

E' stata effettuata una sola verifica relativa alla condizione di carico che genera la pressione massima sul terreno.

La verifica è stata effettuata sia in condizioni drenate che non drenate (quando pertinente), secondo la combinazione A2+M2+R2. E' stata inoltre considerata la combinazione alle tensioni ammissibili.

Per i terreni coesivi, la verifica a breve termine in condizioni non drenate è stata effettuata con la pressione massima ottenuta, comprensiva dei carichi permanenti e accidentali. La stessa verifica ma a lungo termine, quindi in condizioni drenate, considera invece solo la quota parte permanente della pressione sul terreno.

Per i terreni granulari invece è stata effettuata una sola verifica in condizioni drenate con la pressione massima dovuta ai permanenti e agli accidentali.

In favore di sicurezza, la posizione della falda è stata sempre considerata presente a piano campagna.

La verifica è stata effettuata confrontando la pressione massima agente ottenuta dal modello di calcolo ( $q_{max}$ ), con la resistenza di progetto ( $q_{LIM}/\gamma_R$ ) ricavata a partire dalle sollecitazioni globali, ottenute integrando rispetto al baricentro le singole forze delle molle. In condizioni drenate, dalla pressione massima agente è stata decurtata la sottospinta idraulica.

Le tensioni e le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono state calcolate sempre con i coefficienti A1 per le azioni. Da queste, effettuando opportune operazioni algebriche, sono stati ricavati i valori alle tensioni ammissibili e alla combinazione GEO (A2).

Nel seguito si riportano tutti i dati di input e di output necessari utili alla comprensione della verifica. Il metodo è quello classico della formulazione trinomia con i coefficienti modificati (Brinch – Hansen).

Per brevità di trattazione, si omettono i passaggi del calcolo.

Stratigrafia

unità 1	0-5m	ghiaia
unità 2	5-30m	limi compatti/semilitoidi

**Formulazione**

<p><b>Fondazioni Dirette</b> <b>Verifica in tensioni efficaci</b></p> $q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$	<p><b>Fondazioni Dirette</b> <b>Verifica in tensioni totali</b></p> $q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q$
---	---

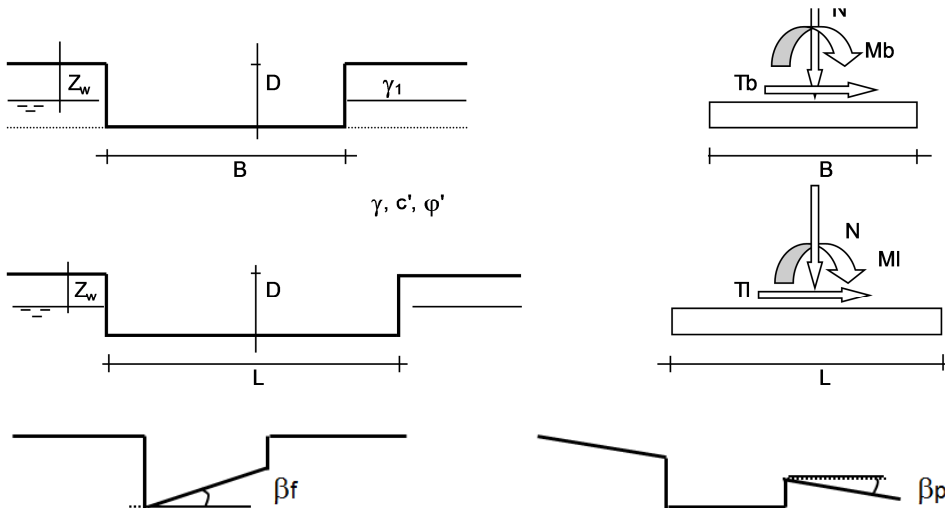
**Coefficienti parziali per verifica in condizioni drenate**

Metodo di calcolo	coefficienti parziali					
	azioni		proprietà del terreno		resistenze	
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr
A1+M1+R1	1.35	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
A2+M2+R2	1.00	1.25	1.25	1.25	1.80	1.00
SISMA	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
A1+M1+R3	1.35	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
SISMA	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00

**Coefficienti parziali per verifica in condizioni non drenate**

Metodo di calcolo	coefficienti parziali				
	azioni		proprietà del terreno	resistenze	
	permanenti	temporanee variabili	$c_u$	$q_{lim}$	scorr
A1+M1+R1	1.35	1.50	1.00	1.00	1.00
A2+M2+R2	1.00	1.25	1.40	1.80	1.00
SISMA	1.00	1.00	1.40	1.80	1.00
A1+M1+R3	1.35	1.50	1.00	2.30	1.10
SISMA	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00

Geometria della fondazione



**Dati geometrici e caratteristici del terreno**

Dimensione minore plinto	B	3.48 m
Dimensione maggiore plinto	L	12.72 m
Profondità piano di posa	D	3.70 m
Inclinazione piano di posa	$\beta_f$	0 °
Inclinazione terreno di fondazione	$\beta_p$	0 °
Tipo terreno sotto il piano di posa	Tipo	2 1=granulare; 2=coesivo
Peso di volume del terreno, sopra il piano di posa	$\gamma_1$	19 kN/mc
Peso di volume del terreno, sotto il piano di posa	$\gamma$	19 kN/mc
Coesione drenata (caratteristica)	$c'$	20 kPa
Angolo di attrito del terreno (caratteristico)	$\varphi'$	20 °
Coesione non drenata (caratteristica)	$c_u$	250 kPa
Profondità della falda	$Z_w$	0.0 m


		Condizioni drenate			Condizioni non drenate		
		T.A.	A2(GEO)	A1(STR)	T.A.	A2(GEO)	A1(STR)
<b>Sollecitazioni di progetto [kN;m]</b>							
Sottospinta idraulica	Nw	1 638	1 638	1 638	-	-	-
Sforzo normale	N	11 208	11 208	15 131	12 348	12 633	16 841
Momento flettente (su dimensione minore)	Mb	247	247	334	386	421	542
Momento flettente (su dimensione maggiore)	Ml	1 007	1 007	1 359	1 032	1 038	1 396
Taglio (su dimensione minore)	Tb	-1	-1	-2	39	48	58
Taglio (su dimensione maggiore)	Tl	-107	-107	-145	-127	-132	-174
Taglio (combinato)	H	107	107	145	152	163	184
eccentricità (su dimensione minore)	eb	0.01 B	0.01 B	0.01 B	0.01 B	0.01 B	0.01 B
eccentricità (su dimensione maggiore)	el	0.01 L	0.01 L	0.01 L	0.01 L	0.01 L	0.01 L

**Pressioni massime agenti in fondazione**

Approccio		T.A.	A2(GEO)	A1(STR)	
Sottospinta idraulica	$q_w$	37	37	37 kPa	
Pressione massima - solo peso proprio	$q_{max,G}$	284	284	383 kPa	coefficiente di sicurezza c.s.=( $q_{lim} / \gamma_R$ ) / $q_{max}$
Pressione massima - solo accidentale	$q_{max,(Q)}$	17	21	25 kPa	
Pressione massima - tutti i carichi	$q_{max,(G+Q)}$	300	305	408 kPa	

**Verifica capacità portante**

Condizioni drenate	Approccio	resistenza di progetto			verifica		
		$q_{lim}$	$\gamma_R$	$q_{lim} / \gamma_R$	$q_{max}$	c.s.	
Condizioni drenate	T.A.	793	3.0	264	247	1.07	>1; ok!!!!
	A2+M2+R2 (GEO)	511	1.8	284	247	1.15	>1; ok!!!!
						<b>1.07</b>	>1; ok!!!!
Condizioni non drenate	T.A.	1 867	3.0	622	300	2.07	>1; ok!!!!
	A2+M2+R2 (GEO)	1 352	1.8	751	305	2.47	>1; ok!!!!
						<b>2.07</b>	>1; ok!!!!

	<b>LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>																		
<b>PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO</b>	<table border="0"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>FASE</td> <td>ENTE</td> <td>COD.</td> <td>DOC.</td> <td>PROG.</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA0X</td> <td>02</td> <td>D</td> <td>09</td> <td>RH</td> <td>VI0500</td> <td>001</td> <td>A</td> <td>77 di 78</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO	IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	77 di 78
PROGETTO	LOTTO	FASE	ENTE	COD.	DOC.	PROG.	REV.	FOGLIO											
IA0X	02	D	09	RH	VI0500	001	A	77 di 78											

### ***11.1.10 Analisi critica risultati***

Tutte e sette le analisi hanno fornito un moltiplicatore critico superiore a 5, ad eccezione di quella con il treno in posizione T5 per il quale si ha un moltiplicatore ultimo di 4.5. Tali valori sono ben al di sopra del minimo richiesto da normativa pari a 1.5.

Volendo effettuare una verifica allo SLU, e quindi soffermandosi sui risultati relativi al coefficiente amplificativo del carico accidentale di 1.5, si vede come la compressione massima si ha all'imposta delle arcate e nella parte alta della pile, con valori intorno a 1.4 MPa, ben al di sotto delle rispettive resistenze.

La struttura pertanto, sotto i carichi di progetto amplificati, presenta ancora ampi margini di resistenza. La testimonianza diretta di tale fatto è il raggiungimento del coefficiente amplificativo di 5.

Si può pertanto affermare che la capacità portante dell'elevazione del ponte è ampiamente sufficiente a portare i carichi di progetto.

Dal punto di vista geotecnico, le fondazioni, sono idonee a portare i carichi provenienti dalle elevazioni.



**LINEA POTENZA – FOGGIA – AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI  
TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE**

**PONTE SUL FIUME OFANTO AL KM. 0+389 –  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

PROGETTO LOTTO FASE ENTE COD. DOC. PROG. REV. FOGLIO  
IA0X 02 D 09 RH VI0500 001 A 78 di 78

## 12 CONCLUSIONI

Dall'analisi dei risultati ricavati dallo sviluppo dei modelli di calcolo sopra descritti, si evince quanto segue:

- Il ponte in muratura risulta possedere un sufficiente grado di sicurezza nei confronti dei carichi verticali permanenti (peso propri e permanenti portati) ed accidentali (treno tipo D4) e delle azioni accidentali orizzontali non sismiche (vento).
- L'incremento di carico accidentale dovuto alla velocizzazione e alla riclassificazione della linea da C3 a D4 risulta perseguibile con sufficiente margine di sicurezza