

**CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO  
ITINERARIO MAGLIE - SANTA MARIA DI LEUCA**

**S.S. N° 275 "DI S. MARIA DI LEUCA"**

**LAVORI DI AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. B DEL D.M. 5.11.2001**

S.S. 16 dal km 981+700 al km 985+386 - S.S. 275 dal Km 0+000 al km 37+000

**1° Lotto: Dal Km 0+000 di prog. al Km 23+300 di prog.**

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. BA283

**PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA**

**I PROGETTISTI**

Ing. Alberto SANCHIRICO – Progettista e Coordinatore  
Ing. Simona MASCIULLO – Progettista

**COLLABORATORI**

Geom. Andrea DELL'ANNA  
Geom. Massimo MARTANO  
Geom. Giuseppe CALO'

**IL COORDINATORE IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Ing. Alberto SANCHIRICO

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Ing. Gianfranco PAGLIALUNGA

**RESPONSABILE PROJECT MANAGEMENT E PROGETTI SPECIALI**

Ing. Nicola MARZI

**IL COMMISSARIO STRAORDINARIO**

Ing. Vincenzo MARZI

**ATTIVITA' DI SUPPORTO**






**08 - OPERE D'ARTE MAGGIORI - VIADOTTI E PONTI**

**Cavalcavia (Comune di Melpignano)**

**CV 1 - al km 0+582,05**

**Relazione di calcolo strutturale**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. N. PROG.	T00_CV01_STR_RE01_D.pdf			
L0503A	D 1701	CODICE ELAB.	T00CV01STRRE01	D	1:100
D	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO	DATA	Marzo 2022		
C	OTTEMPERANZA PARERE AdB Puglia – PARERE CSLLPP	DATA	Aprile 2019		
B	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO	DATA	Gennaio 2019	Ing. C. Beltrami	
A	REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO	DATA	Giugno 2018	Ing. C. Beltrami	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	NORMATIVE E RIFERIMENTI	5
2.1	Normative e standard	5
2.2	Software di calcolo	6
3.	MATERIALI	7
3.1	Calcestruzzo	7
3.1.1	Magrone sottofondazione	7
3.1.2	Plinti di fondazione	7
3.1.3	Elevazione pile e spalle	7
3.1.4	Soletta, cordoli e predalles	7
3.1.5	Trave di impalcato	8
3.2	Acciaio	8
3.2.1	Acciaio per armatura lenta	8
3.2.2	Acciaio per armatura di precompressione	8
3.3	Legami costitutivi	9
3.3.1	Diagramma tensione-deformazione calcestruzzo	9
3.3.2	Diagramma tensione-deformazione acciaio ordinario per c.a.	9
4.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	10
5.	MODELLO NUMERICO	11
6.	ANALISI DEI CARICHI	14
6.1	Carichi permanenti strutturali (G1) e non strutturali (G2)	14
6.2	Azioni verticali da traffico (Q1)	14
6.3	Azione del vento	16
6.4	Azione longitudinale di frenamento	17
6.5	Azione centrifuga	17
6.6	Urto dei veicoli in svio	17
6.7	Ritiro	18
6.8	Variazioni termiche	18

---

6.9	Azione sismica	18
6.9.1	Vita nominale	18
6.9.2	Classe d'uso	19
6.9.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	19
6.9.4	Parametri di progetto	19
6.9.5	Categoria di sottosuolo	22
6.9.6	Condizioni topografiche	22
6.9.7	Spettro di risposta elastico in accelerazione	23
6.9.8	Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti orizzontali	23
6.9.9	Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti verticali	25
6.9.10	Spettri di progetto in accelerazione	26
7.	COMBINAZIONI DI CARICO	27
7.1	Impalcato	29
7.2	Pile	30
7.3	Spalle	31
8.	RISULTATI	32
8.1	ANALISI MODALE	32
8.2	DIAGRAMMI SOLLECITAZIONI	35
9.	VERIFICHE IMPALCATO	36
9.1	Caratteristiche trave in c.a.p.	36
9.2	Precompressione e armatura lenta	37
9.3	Perdite differite nel tempo	38
9.4	Caratteristiche sezioni di verifica	39
9.5	Diagramma tensioni sulla trave n.1	40
9.6	Diagramma tensioni/aree armature trave n.1	41
9.7	Verifica sezione n.1 – ascissa $x = 0,000\text{m}$	42
9.8	Verifica sezione n.5 – ascissa $x = 1,2716\text{m}$	44
9.9	Verifica sezione n.10 – ascissa $x = 2,8611\text{m}$	46
9.10	Verifica sezione n.34 – ascissa $x = 10,4907\text{m}$	48
9.11	Verifica sezione n.51 – ascissa $x = 15,8957\text{m}$	50

9.12	Verifica a rottura della sezione di mezzeria	52
9.13	Verifiche a taglio – SLU	53
9.14	Verifiche a torsione – SLU	54
9.15	Verifiche connettori trave-soletta	55
9.16	Verifica all'urto dei veicoli in svio	56
9.17	Verifica dello sbalzo della soletta (Sezione S <sub>1</sub> )	57
9.18	Verifiche del cordolo (Sezione S <sub>2</sub> )	57
9.19	Verifiche a deformazione	59
9.20	Azioni sugli apparecchi di appoggio	60
10.	VERIFICHE PILA 1	61
10.1	Verifica Elevazione	61
10.1.1	Verifica SLU-SLV	61
10.1.2	Verifica SLE – Controllo tensioni	63
10.1.3	Verifica SLE – Fessurazione	64
10.2	Verifica fondazione	65
10.2.1	Verifiche strutture SLU-SLV	66
10.2.2	Verifica a ribaltamento	67
11.	VERIFICHE PILA 2	69
11.1	Verifica Elevazione	69
11.1.1	Verifica SLU-SLV	69
11.1.2	Verifica SLE – Controllo tensioni	71
11.1.3	Verifica SLE – Fessurazione	72
11.2	Verifica fondazione	73
11.2.1	Verifiche strutture SLU-SLV	74
11.2.2	Verifica a ribaltamento	75
12.	VERIFICA DELLE SPALLE	77
12.1	Modello di calcolo	77
12.2	Verifiche strutture SLU-SLV	79
12.3	Verifica a ribaltamento	81

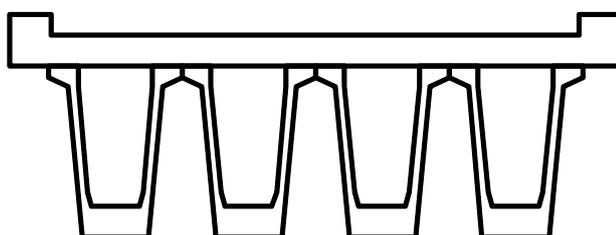
## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i calcoli relativi al ponte stradale CV01 - PRG.0+582.50 Cavalcavia comune di Melpignano ubicato alla progressiva 0+582.50, nell'ambito dei CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO MAGLIE - S.M. DI LEUCA.

L'opera di cui trattasi ha una lunghezza complessiva di 64m suddivisi in 3 campate la cui luce misurata tra gli appoggi per le travi è pari a 16m - 32m - 16m.

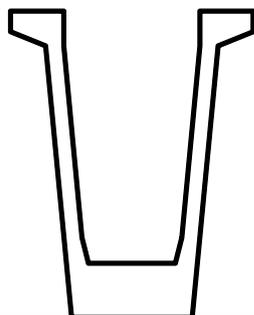
L'impalcato è costituito da 4 travi a cassone in cemento armato precompresso, di altezza 1,4m, disposte ad interasse di 2,4m e da una soletta in c.a. di larghezza complessiva 11m.

La soletta di spessore 25cm presenta una larghezza pavimentata carrabile di 9,5m e due cordoli esterni di larghezza 0,75m e altezza 17cm.



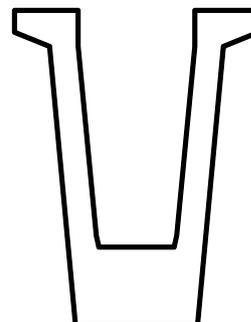
La trave è del tipo a cassone precompresso a fili aderenti e presenta due tipi di sezione: una sezione corrente di tipo A e una sezione ringrossata tipo B in corrispondenza degli appoggi per una lunghezza di 1m. La zona di raccordo tra le due sezioni misura una lunghezza di 1m.

SEZIONE TIPO A



-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250

SEZIONE TIPO B



-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250

PIANTA



La precompressione della trave avviene per mezzo di 56 Trefoli stabilizzati del diametro di 6/10S", suddivisi in 4 gruppi disposti a diverse altezze della sezione.

Le verifiche di normativa riguardanti l'impalcato sono state eseguite sulla trave maggiormente caricata nel rispetto delle N.T.C.2018.

## 2. NORMATIVE E RIFERIMENTI

### 2.1 Normative e standard

Il dimensionamento delle opere in progetto è condotto in riferimento alle attuali normative e di seguito elencate.

[1]	<b>D.M. 17/01/2018, n.8</b>	<b>Norme Tecniche per le costruzioni</b>
[2]	<b>Circ. Min. 21 gennaio 2019, n. 7</b>	<b>Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018</b>
[3]	Legge 05/11/1971, n.1086	Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica” e relative istruzioni (Circ. LL.PP. 14/02/1974, n. 11951)
[4]	Legge 02/02/1974, n.64	Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
[5]	UNI EN 1990	Basis of structural design
[6]	UNI EN 1991-1-1	Actions on structures - General actions - Densities, self-weight and imposed loads
[7]	UNI EN 1991-1-4	Actions on structures - General actions - Wind actions
[8]	UNI EN 1991-1-5	Actions on structures - General actions - Thermal actions
[9]	UNI EN 1992-1-1	Design of concrete structures -General - Common rules for building and civil engineering structures
[10]	UNI EN 1992-1-2	Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design
[11]	UNI EN 1992-2	Design of concrete structures -Bridges
[12]	UNI EN 1993-1-1	Design of steel structures- General rules and rules for buildings
[13]	UNI EN 1993-1-8	Design of steel structures- Design of Joints
[14]	UNI EN 1994-1-1	Design of composite steel and concrete structures – General rules and rules for buildings
[15]	UNI EN 1994-2	Design of composite steel and concrete structures – General rules and rules for bridges
[16]	UNI EN 1997-1	Geotechnical design - General rules
[17]	UNI EN 1998-1	Design provisions for earthquake resistance of structures - General rules, seismic actions and rules for buildings
[18]	UNI EN 1998-2	Design of structures for earthquake resistance - Bridges
[19]	UNI EN 1998-5	Design of structures for earthquake resistance – Foundations, retaining structures and geotechnical aspects

- [20] Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale Linee guida sul calcestruzzo strutturale
- [21] UNI-EN 206-1 Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità
- [22] UNI-EN 11104 Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1

## 2.2 Software di calcolo

- [1] SAP2000, Ver. 14.0.0 Il programma, codice di calcolo ad elementi finiti in campo statico e dinamico lineare/non lineare, consente l'analisi strutturale per fasi, la modellazione della precompressione tramite tracciato cavi 3D, il calcolo degli effetti dei carichi mobili tramite linee/superfici d'influenza.  
sviluppato dalla società Computers and Structures, Inc. (1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA)
- [2] SAP2000, Ver. 20.0.0 Il programma, codice di calcolo ad elementi finiti in campo statico e dinamico lineare/non lineare, consente l'analisi strutturale per fasi, la modellazione della precompressione tramite tracciato cavi 3D, il calcolo degli effetti dei carichi mobili tramite linee/superfici d'influenza.  
sviluppato dalla società Computers and Structures, Inc. (1995 University Avenue Berkeley, California 94704 USA)

### 3. MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo

##### 3.1.1 Magrone sottofondazione

Classe del calcestruzzo		C12/15	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	15	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC0	-

##### 3.1.2 Plinti di fondazione

Classe del calcestruzzo		C28/35	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC2	-
Gruppi di esigenze		A	-
Rapporto massimo acqua/cemento		0.55	-
Contenuto minimo di cemento		300	kg/mc
Classe di consistenza (Slump)		S4	-
Dimensione massima dell'aggregato		32	mm
Copriferro nominale		45	mm
Modulo elastico	$E_{cm} =$	32308	N/mm <sup>2</sup>

##### 3.1.3 Elevazione pile e spalle

Classe del calcestruzzo		C32/40	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC4+XD1	-
Gruppi di esigenze		B	-
Rapporto massimo acqua/cemento		0.50	-
Contenuto minimo di cemento		340	kg/mc
Classe di consistenza (Slump)		S4	-
Dimensione massima dell'aggregato		25	mm
Copriferro nominale		35	mm
Modulo elastico	$E_{cm} =$	33346	N/mm <sup>2</sup>

##### 3.1.4 Soletta, cordoli e predalles

Classe del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC3+XD1	-
Gruppi di esigenze		B	-
Rapporto massimo acqua/cemento		0.45	-
Contenuto minimo di cemento		360	kg/mc
Classe di consistenza (Slump)		S4	-
Dimensione massima dell'aggregato		25	mm
Copriferro nominale		35	mm
Modulo elastico	$E_{cm} =$	34077	N/mm <sup>2</sup>

### 3.1.5 Trave di impalcato

Classe del calcestruzzo		C45/55	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	55	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC4+XD1	-
Gruppi di esigenze		B	
Rapporto massimo acqua/cemento		0.45	-
Contenuto minimo di cemento		360	kg/mc
Classe di consistenza (Slump)		S4	-
Dimensione massima dell'aggregato		25	mm
Copriferro nominale		35	mm
Modulo elastico	$E_{cm} =$	36283	N/mm <sup>2</sup>

## 3.2 Acciaio

Per l'acciaio da carpenteria si assume il seguente peso per unità di volume:  $\gamma_{Acciaio} = 78.50 \text{ kN/m}^3$

### 3.2.1 Acciaio per armatura lenta

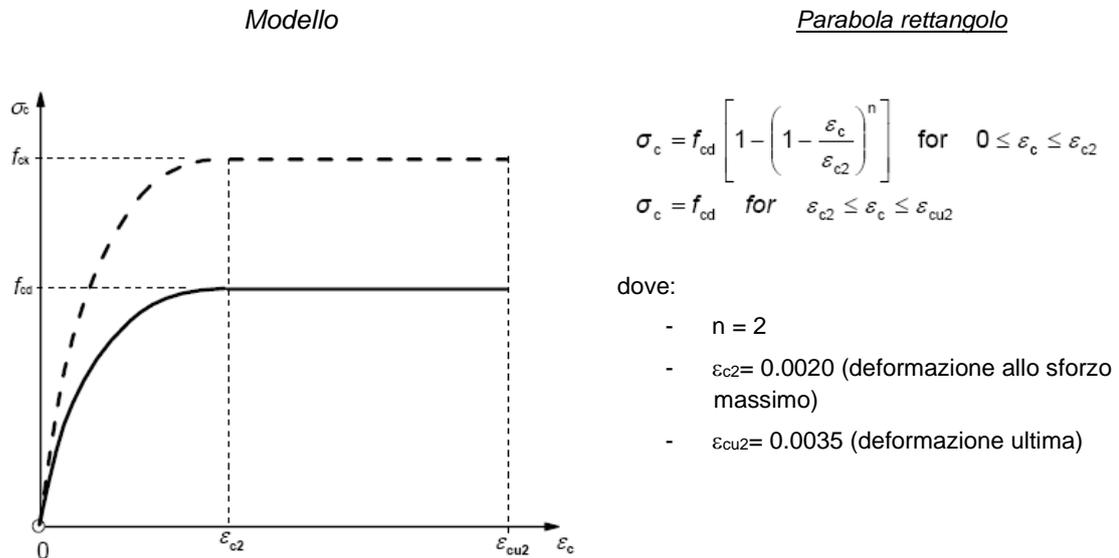
Classe di acciaio		B450	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	$f_{yd}$	391.3	N/mm <sup>2</sup>
Sovra-resistenza	$f_{tk} / f_{yk}$	$\geq 1.15$	-
Modulo di elasticità	$E_s$	210000	N/mm <sup>2</sup>

### 3.2.2 Acciaio per armatura di precompressione

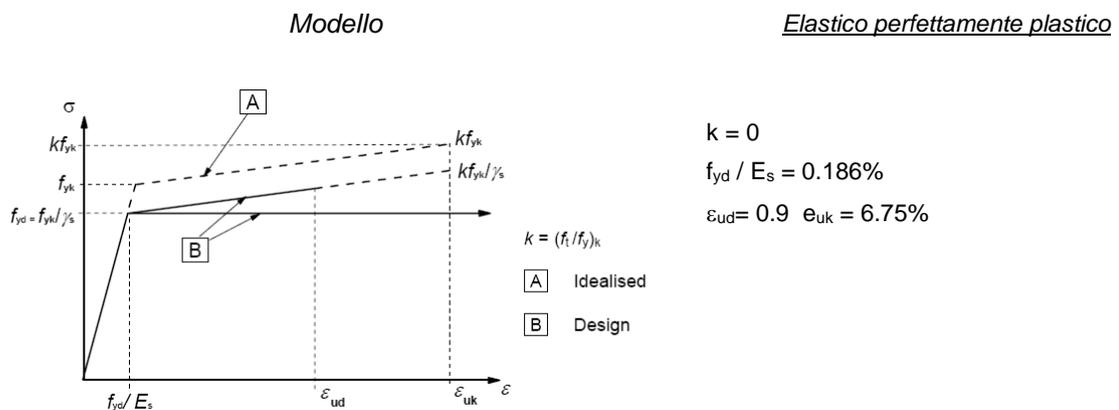
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	$f_{yk}$	1670	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk}$	1860	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	$E_s$	206000	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{y,k} / 1.15$	$f_{yd}$	1452.2	N/mm <sup>2</sup>
Tensione iniziale all'atto tesatura $\sigma_{spi} < 0.90 f_{p(0.1)k}$ $\sigma_{spi} < 0.80 f_{ptk}$	$\sigma_{spi}$	<1488	N/mm <sup>2</sup>
Tensione massima nell'acciaio per combinazione rara $\sigma_{sp} < 0.80 f_{p(0.1)k}$	$\sigma_{sp}$	<1336	N/mm <sup>2</sup>

### 3.3 Legami costitutivi

#### 3.3.1 Diagramma tensione-deformazione calcestruzzo



#### 3.3.2 Diagramma tensione-deformazione acciaio ordinario per c.a.



Per i calcoli agli stati limite d'esercizio (SLE) a "tempo infinito", si considera un coefficiente di omogeneizzazione per l'acciaio  $n=15$ .

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

TIPO CALCESTRUZZO TRAVE - C45/55		C45/55	$s < 50\text{mm}$	
Resistenza cubica caratteristica			$R_{ck} =$	55,000 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	(11.2.1)		$f_{ck} =$	45,000 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica all'atto della tesatura $f_{ckj} = 0.83 R_{ckj}$	(11.2.1)		$f_{ckj} =$	45,000 Mpa
Resistenza cilindrica media $f_{cm} = f_{ck} + 8$	(11.2.2)		$f_{cm} =$	53,000 Mpa
Resistenza cilindrica media all'atto della tesatura $f_{cmj} = f_{ckj} + 8$	(11.2.2)		$f_{cmj} =$	53,000 Mpa
Resistenza media a trazione semplice $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	(11.2.3a/b)		$f_{ctm} =$	3,795 Mpa
Resistenza media a trazione semplice all'atto della tesatura $f_{ctmj} = 0.30 f_{ckj}^{2/3}$	(11.2.3a/b)		$f_{ctmj} =$	3,795 Mpa
Resistenza caratteristica a trazione semplice $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	(11.2.3a/b)		$f_{ctk} =$	2,657 Mpa
Resistenza media a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.20 f_{ctm}$	(11.2.4)		$f_{ctm} =$	4,555 Mpa
Resistenza caratteristica a trazione per flessione $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	(11.2.4)		$f_{ctk} =$	3,188 Mpa
Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza $f_{bk} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk}$	(4.1.7)		$f_{bk} =$	5,978 Mpa
Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	(11.2.5)		$E_{cm} =$	36283,2 Mpa
Resistenza di calcolo a trazione semplice $f_{ctd} = f_{ctk}/1.5$	(4.1.5)		$f_{ctd} =$	1,771 Mpa
Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck}/1.5$	(4.1.3)		$f_{cd} =$	25,500 Mpa
Resistenza di calcolo tangenziale di aderenza $f_{bd} = f_{bk}/1.5$	(4.1.6)		$f_{bd} =$	3,985 Mpa
Tensione massima di compressione nel cls per comb. Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	(4.1.15)		$\sigma_c <$	27,000 Mpa
Tensione massima di compressione nel cls per comb. quasi perm. $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	(4.1.16)		$\sigma_c <$	20,250 Mpa
Tensione massima di compressione nel c.a.p. all'atto della tesatura $\sigma_c < 0.70 f_{ckj}$	(4.1.47)		$\sigma_c <$	31,500 Mpa
Tensione massima di trazione nel c.a.p. in esercizio $\sigma_t < f_{ctm}/1.2$			$\sigma_t <$	3,163 Mpa
Tensione massima di trazione nel c.a.p. all'atto della tesatura $\sigma_{tj} < f_{ctmj}/1.2$			$\sigma_{tj} <$	3,163 Mpa
} SLU				
} SLE				
TIPO CALCESTRUZZO SOLETTA - C35/45		C35/45	$s < 50\text{mm}$	
Resistenza cubica caratteristica			$R_{ck} =$	45,000 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	(11.2.1)		$f_{ck} =$	35,000 Mpa
Resistenza cilindrica media $f_{cm} = f_{ck} + 8$	(11.2.2)		$f_{cm} =$	43,000 Mpa
Resistenza media a trazione semplice $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	(11.2.3a/b)		$f_{ctm} =$	3,210 Mpa
Resistenza caratteristica a trazione semplice $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	(11.2.3a/b)		$f_{ctk} =$	2,247 Mpa
Resistenza media a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.20 f_{ctm}$	(11.2.4)		$f_{ctm} =$	3,852 Mpa
Resistenza caratteristica a trazione per flessione $f_{ctk} = 0.70 f_{ctm}$	(11.2.4)		$f_{ctk} =$	2,696 Mpa
Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza $f_{bk} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk}$	(4.1.7)		$f_{bk} =$	5,056 Mpa
Modulo elastico $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	(11.2.5)		$E_{cm} =$	34077,1 Mpa
Resistenza di calcolo a trazione semplice $f_{ctd} = f_{ctk}/1.5$	(4.1.5)		$f_{ctd} =$	1,498 Mpa
Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck}/1.5$	(4.1.3)		$f_{cd} =$	19,833 Mpa
Resistenza di calcolo tangenziale di aderenza $f_{bd} = f_{bk}/1.5$	(4.1.6)		$f_{bd} =$	3,370 Mpa
Tensione massima di compressione nel cls per comb. Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	(4.1.15)		$\sigma_c <$	21,000 Mpa
Tensione massima di compressione nel cls per comb. quasi perm. $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	(4.1.16)		$\sigma_c <$	15,750 Mpa
} SLU				
} SLE				
TIPO ACCIAIO ARMATURA LENTA - B450C		B450C		
Tensione di snervamento caratteristica			$f_{yk} =$	450,0 Mpa
Tensione di rottura caratteristica			$f_{tk} =$	540,0 Mpa
Modulo elastico $E_s$			$E_s =$	206000 Mpa
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{yk}/1.15$	(4.1.5)		$f_{yd} =$	391,30 Mpa
Tensione massima nell'acciaio per comb. rara $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	(4.1.17)		$\sigma_s <$	360,00 Mpa
TIPO ACCIAIO ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE		Trefoli		
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale			$f_{yk} =$	1670,0 Mpa
Tensione di rottura caratteristica			$f_{tk} =$	1860,0 Mpa
Modulo elastico $E_s$			$E_s =$	206000 Mpa
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{yk}/1.15$	(4.1.5)		$f_{yd} =$	1452,2 Mpa
Tensione iniziale all'atto della tesatura $\sigma_{spi} < 0.90 f_{pl(0.1)k}$ $\sigma_{spi} < 0.80 f_{ptk}$	(4.1.49)		$\sigma_{spi} <$	1488,0 Mpa
Tensione massima nell'acciaio per comb. rara $\sigma_{sp} < 0.80 f_{pl(0.1)k}$	(4.1.17)		$\sigma_{sp} <$	1336,0 Mpa

## 5. MODELLO NUMERICO

Per l'intera struttura è stato definito un modello numerico rappresentativo con il programma di calcolo agli elementi finiti "Sap2000" della Computer and Structures Inc.

I vari elementi costituenti il modello sono i seguenti:

- Travi e soletta - Grigliato di aste costituite da elementi frame aventi l'inerzia delle sezioni costituita dalle travi (fase 1) e dalla soletta omogeneizzata (fase 2 e 3). Su ciascuna asta sono stati assegnati i carichi precedentemente descritti e le linee di transito su cui muovono le azioni dovute al traffico dei veicoli.
- Traversi - Aste continue costituite da elementi frame aventi le caratteristiche inerziali dei profilati angolari costituenti i vari elementi dei diaframmi.
- Soletta - Considerata solo per gli effetti trasversali, è modellata mediante aste di larghezza 1.0 m. Per l'analisi modale e l'analisi dinamica con spettro di risposta, al fine di simulare il comportamento rigido di diaframma della soletta, questa è stata modellata con elementi shell.
- Appoggi - Sono schematizzati con elementi tipo "link"
- Pile - sono state modellate con aste verticali che rappresentano le pile propriamente dette. In particolare l'asta che le rappresenta risulta libera per la parte in elevazione e vincolata a terra con un vincolo di incastro.
- Spalle - costituiscono un semplice vincolo d'appoggio per l'intero modello.

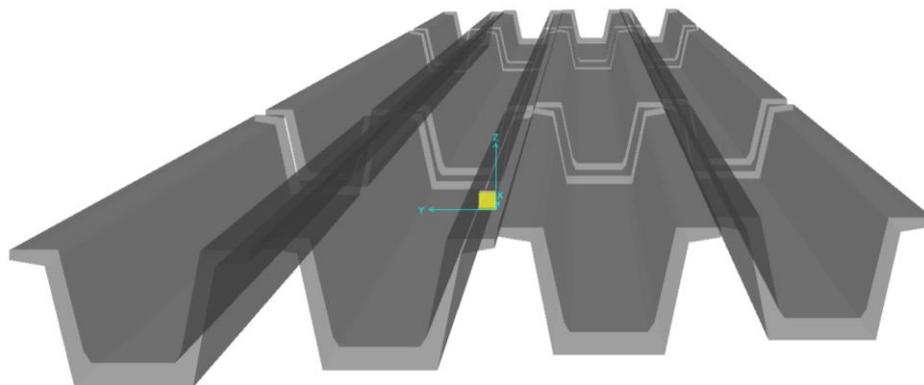


Figura 5-1: Modello di calcolo: dettaglio travi

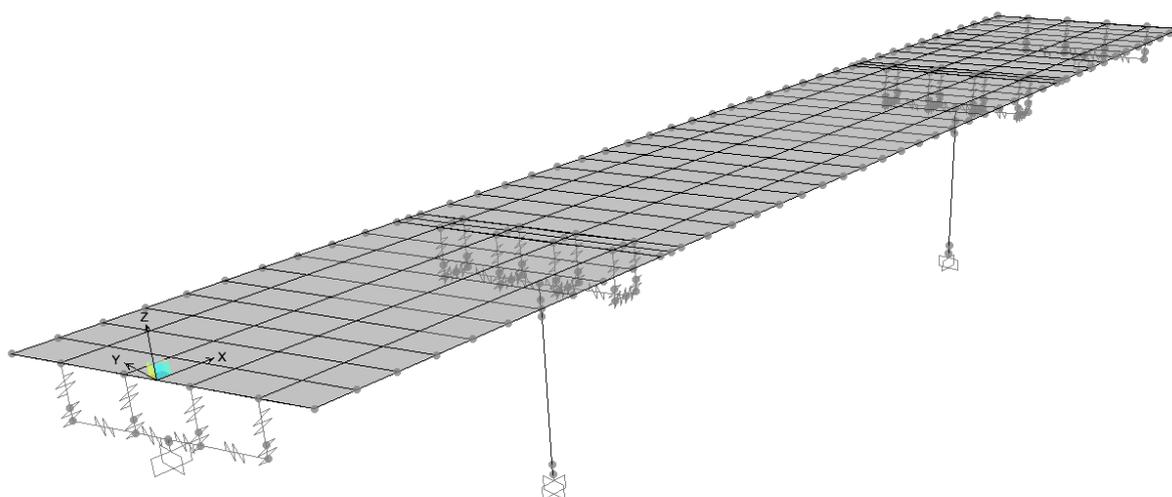


Figura 5-2: Modello di calcolo: con elementi shell soletta in vista

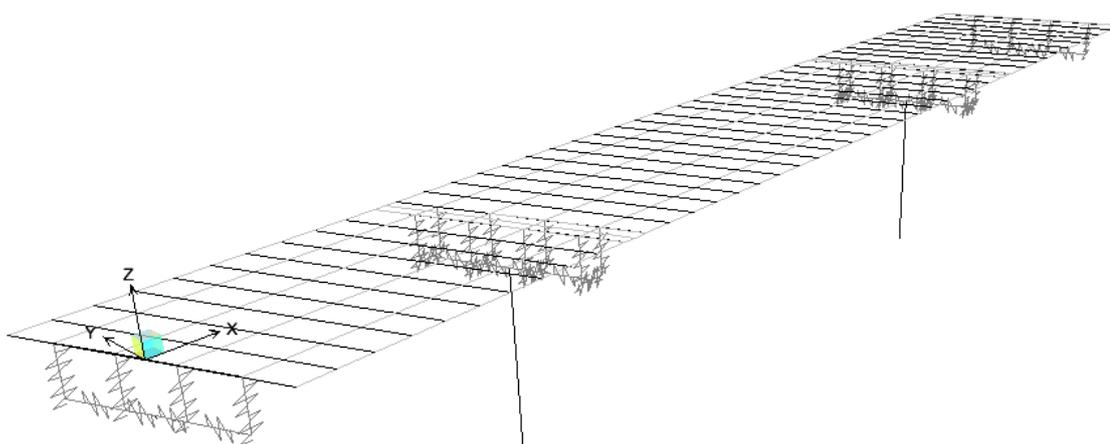


Figura 5-3: Modello di calcolo: con elementi shell soletta non in vista

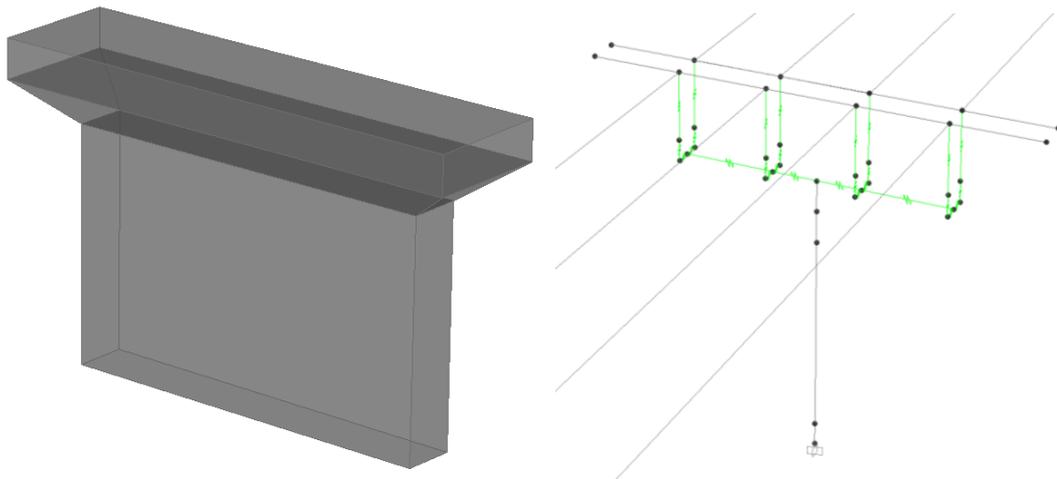


Figura 5-4: Modello di calcolo: dettaglio pila

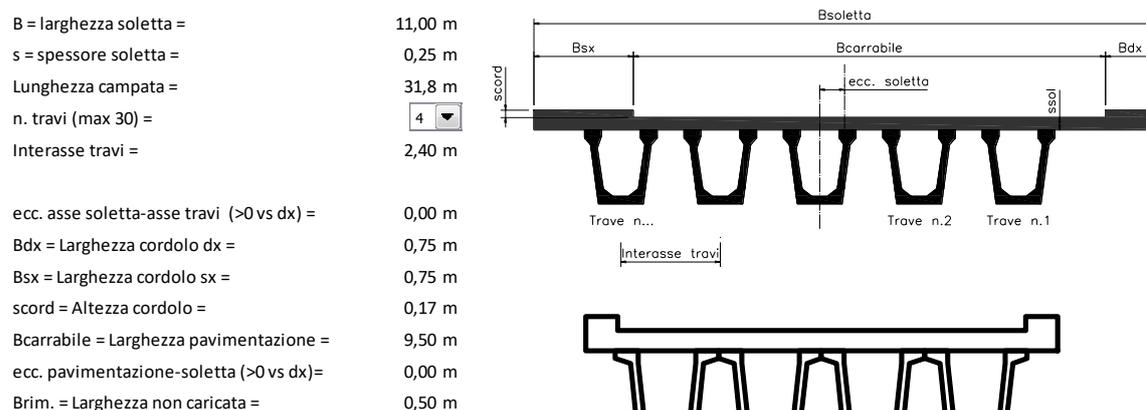
Per tener conto delle fasi costruttive, sono state definite all'interno del modello 4 fasi con tre tipi di sezioni reagenti e relativi carichi:

0. Fase – Sono presenti le sole sottostrutture (pile e spalle); Carichi agenti: attrito vincoli. e peso proprio pila
1. Fase - Sezione reagente: Sezione reagente: sole travi; Carichi agenti: pesi propri e getto dei traversi e della soletta fluida.
2. Fase - Sezione reagente: trave con soletta collaborante omogeneizzata e diaframmi; Carichi agenti: carichi permanenti e mobili.
3. Fase sismica - Sezione reagente: travi e traversi (frame) con soletta (shell); Carichi agenti: analisi modale e analisi dinamica con spettro di risposta, ritiro, termica, frenatura, centrifuga, vento.

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 Carichi permanenti strutturali (G1) e non strutturali (G2)

Il carico dovuto al peso proprio dei vari elementi strutturali che compongono il viadotto viene assegnato, nel modello numerico così come segue:



Carichi permanenti e accidentali calcolati in automatico

Carichi ferroviari NTC2008

Elevato standard manutentivo

#### ANALISI DEI CARICHI SULLA TRAVE 1

TRAVE 1

Peso proprio trave in c.a.p.	21,28 KN/m
Peso proprio soletta in c.a.	17,86 KN/m
Carico permanente <input checked="" type="checkbox"/> Soletta e perm unif. sulle travi	15,42 KN/m

#### ANALISI DEI CARICHI SULL'IMPALCATO

Peso proprio trave in c.a.p.	85,11 KN/m
Peso proprio soletta in c.a.	68,75 KN/m
Peso proprio pavimentazione	4,00 KN/mq
Peso sicurvia	2,50 KN/m
Peso arredi esterni	6,15 KN/m
Larghezza della corsia di carico	3,00 m

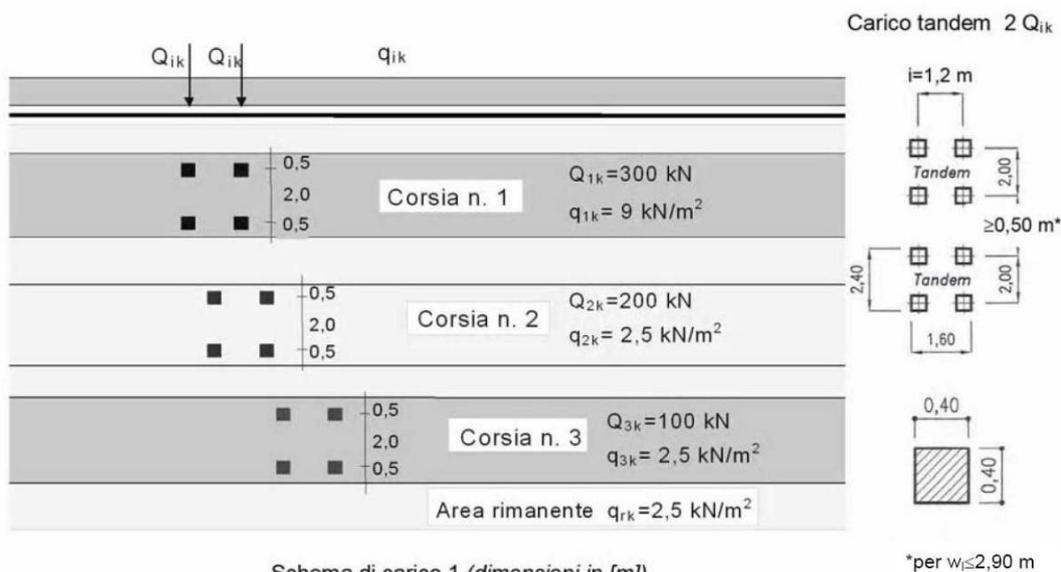
### 6.2 Azioni verticali da traffico (Q1)

L'analisi dei carichi mobili viene effettuata in accordo alle indicazioni delle NTC18.

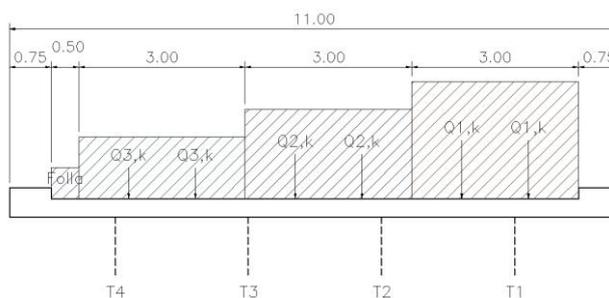
Le azioni variabili da traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dallo schema di carico 1, descritto nel seguito:

- corsia n.1 costituita da un automezzo convenzionale Q1k di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse delle ruote in senso trasversale di 2.00 m e un carico ripartito q1k di 9 kN/m<sup>2</sup>;
- corsia n.2, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN (automezzo convenzionale Q2k) e 2.5 kN/m<sup>2</sup> (carico ripartito q2k);
- corsia n.3, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN (automezzo convenzionale Q3k) e 2.5 kN/m<sup>2</sup> (carico ripartito q3k);

- zona rimanente, occupata da una colonna di carico  $q_{rk} = 2.5 \text{ kN/m}^2$  nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.



Sono stati considerati i carichi mobili previsti dalla vigente normativa per ponti di prima categoria, disposti nella configurazione che massimizza le sollecitazioni sulla trave di progetto.



La ripartizione dei carichi mobili sul cassoncino di bordo è stata effettuata secondo il modello di calcolo FEM.

Il modello di calcolo utilizzato è implementato nel programma di analisi strutturale agli elementi finiti Sap2000; tale codice di calcolo permette di costruire le linee di influenza relative alle distinte sollecitazioni per ciascun punto della struttura.

### 6.3 Azione del vento

#### AZIONI DEL VENTO (§3.3 NTC18)

Regione **Puglia** Zona **3**  
 Altitudine sul livello del mare  $a_s = 85.0$  [m]

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32



Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

#### 3.3.1 Velocità base di riferimento

Velocità base di riferimento al livello del mare  $v_{b,0} = 27.0$  [m/s]  
 parametri tabella 3.I  $a_0 = 500$  [m]  
 parametri tabella 3.I  $k_a = 0.37$  [1/s]  
 Coefficiente di altitudine  $c_a = 1$  per  $a_s \leq a_0$ ;  $c_a = 1 + k_a(a_s/a_0 - 1)$  per  $a_s > a_0$   $c_a = 1.0$   
 Velocità base di riferimento  $v_b = v_{b,0} c_a$   $v_b = 27.0$  [m/s]

#### 3.3.2 Velocità di riferimento

Periodo di ritorno  $T_R = 50$  [anni]  
 Coefficiente di ritorno  $c_r = 0.75 (1 - 0.2 \ln(-\ln(1 - 1/T_R)))^{0.5}$   $c_r = 1.00$   
 Velocità di riferimento di progetto  $v_r = v_b c_r$   $v_r = 27.0$  [m/s]

#### 3.3.6 Pressione cinetica di riferimento

Pressione cinetica di riferimento  $q_r = 0.5 \rho v_r^2$   $\rho_{aria} = 1.25$  [kg/m<sup>3</sup>]  
 $q_p = 0.46$  [kN/m<sup>2</sup>]

#### 3.3.7 Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità de terreno **B**  
 Distanza dalla costa e altitudine **10/30 km**  
 Categoria di esposizione del sito **III**  
 Coefficiente di topografia  $c_t = 1.0$   
 Fattore di terreno  $k_r = 0.20$   
 Lunghezza di rugosità  $z_0 = 0.10$  [m]  
 Altezza minima  $z_{min} = 5.00$  [m]  
 Coefficiente di esposizione  $c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) (7 + c_t \ln(z/z_0))$  per  $z > z_{min}$   $z_{bar} = 10$  [m]  
 $c_e(z) = c_e(z_{min})$  per  $z \leq z_{min}$   $c_e(z) = 2.14$   
 Coefficiente di forma (o coefficiente aereodinamico)  $c_p = 1.4$   
 Coefficiente dinamico  $c_d = 1.0$

**3.3.4 Pressione del vento**  $p(z) = q_r c_e c_p c_d$   **$p(z) = 1.37$  (kN/m<sup>2</sup>)**

## 6.4 Azione longitudinale di frenamento

### AZIONI LONGITUDINALI (§5.1.3.5 NTC18)

#### 5.1.3.5 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE: $q_3$

La forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN} \quad [5.1.4]$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e  $L$  la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.

Azione longitudinale di frenamento o di accelerazione	$q_3 =$	<b>533</b>	[kN]
Larghezza della corsia	$w_1 =$	3.0	[m]
Carico concentrato da traffico corsia n.1	$Q_{1k} =$	300	[kN]
Carico distribuito da traffico corsia n.1	$q_{1k} =$	9.00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Lunghezza della zona caricata	$L =$	64.0	[m]

## 6.5 Azione centrifuga

### AZIONI LONGITUDINALI (§5.1.3.5 NTC18)

#### 5.1.3.6 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. AZIONE CENTRIFUGA: $q_4$

Nei ponti con asse curvo di raggio  $R$  (in metri) l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente come indicato in Tab. 5.1.III, essendo  $Q_v = \sum_i 2Q_{ik}$  il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte.

Il carico concentrato  $q_4$ , applicato a livello della pavimentazione, agisce in direzione normale all'asse del ponte.

Tab. 5.1.III - Valori caratteristici delle forze centrifughe

Raggio di curvatura [m]	$q_4$ [kN]
$R < 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$1500 \leq R$	0

Azione centrifuga	$q_4 =$	34	[kN]
Carico totale dovuto agli assi tandem dello schema 1	$Q_v =$	600	[kN]
numero delle corsie caricate	$n =$	3	
Lunghezza della zona caricata	$L =$	64.0	[m]
Raggio di curvatura asse ponte	$R =$	700	[m]
Carico concentrato da traffico corsia n.1	$Q_{1k} =$	300	[kN]
Carico concentrato da traffico corsia n.2	$Q_{2k} =$	200	[kN]
Carico concentrato da traffico corsia n.3	$Q_{3k} =$	100	[kN]

## 6.6 Urto dei veicoli in svio

Si tiene conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN. Essa è considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 1.0 m sopra il livello del piano di marcia.

## 6.7 Ritiro

RITIRO DIFFERENZIALE DELLA SOLETTA		<input checked="" type="checkbox"/> Ritiro soletta	
Resistenza cubica caratteristica	$R_{ck} = 45,0$	Mpa	$t_s = 0$ gg
Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	$f_{ck} = 35,0$	Mpa	$t = 500000$ gg
umidità 75	%	$\epsilon_{ca} = -6,25E-05$	$\beta(\infty) = 0,99968$
$A_c = 6000$	cm <sup>2</sup>	$\epsilon_{c0} = -2,93E-04$	$\epsilon_{cd}(\infty) = -2,34E-04$
$u = 480$	cm	$k_1 = 0,800$	
$h_0 = 2 A_c / u = 250$	mm	$\epsilon_{cd,\infty} = -2,35E-04$	
		<b>Riduzione per additivi</b>	<b>Ritiro di calcolo</b>
		↓	↓
<b>Deformazione totale da ritiro a <math>t=\infty</math></b>	$\epsilon_{cs}(\infty) = -2,97E-04$	60%	-1,78E-04

La forza di ritiro da applicarsi nel baricentro della soletta nelle zone non fessurate vale:

$$N = \epsilon_{cs} E_{rid} A_c = 1415,53 \text{ KN}$$

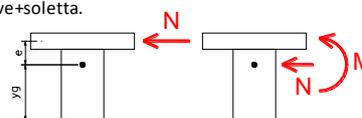
dove:  $E_{rid} = E_{cm} / (1 + \chi \phi) = 13242 \text{ Mpa}$   $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 34077$

$$\chi = 0,80 \quad \phi = 1,967$$

Il ritiro pertanto si traduce in una forza e in un momento applicato nel baricentro della sezione trave+soletta.

$$y_g = 0,927 \quad N_{ritiro} = -1415,53 \text{ KN}$$

$$e = 0,598 \quad M_{ritiro} = 845,92 \text{ KNm}$$



Il ritiro differenziale della soletta rispetto alla trave è mitigato da una quota parte che la trave continua ad esaurire successivamente al getto della soletta. Volendo tener in conto questa evenienza si riduce il ritiro (60%) alla stregua di quanto si farebbe con l'adozione di un additivo. Tuttavia si conferma in questa sede la necessità di prevedere sempre additivi antiritiro in soletta per migliorarne notevolmente la durabilità.

## 6.8 Variazioni termiche

Per quanto riguarda gli effetti della temperatura sulla struttura sono state valutate le seguenti condizioni di carico:

Variazione termica differenziale sull'altezza della trave: si considera alternativamente (a seconda dell'effetto più gravoso) un gradiente termico di  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

Variazione termica uniforme sull'altezza della trave: si considera una variazione termica di  $\pm 30^\circ\text{C}$ .

## 6.9 Azione sismica

In sede di revisione del presente Progetto Definitivo si è valutata la categoria di sottosuolo secondo le nuove indicazioni ( $V_{s,eq}$ ) del D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018. In questa opera la categoria di sottosuolo determinata con i criteri ( $V_{s,30}$ ) della precedente norma rimangono invariati.

### 6.9.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Come vita nominale si assume  $V_N = 50$  anni.

#### 6.9.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: "costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità..... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico."

Il coefficiente d'uso si assume pertanto pari a  $C_U = 2.0$ .

#### 6.9.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso.

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento  $V_R$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV e pari al 5% nel caso dello stato limite SLC.

#### 6.9.4 Parametri di progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC18, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- $F_0$  e  $T_c^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC18 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC18 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC08.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in  $g/10$ ;  $F_0$  è adimensionale,  $T_c^*$  è espresso in secondi.

Nel seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri che caratterizzano l'opera in oggetto:



Figura 6-2: Individuazione della pericolosità del sito



### 6.9.5 Categoria di sottosuolo

Per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento (tab 3.2.II NTC18):

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

La classificazione si effettua sulla base dei valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità e sulla base della resistenza penetrometrica dinamica equivalente  $NSPT_{,30}$ .

Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano d'imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

In base alle indagini geologico - tecniche effettuate i terreni di fondazione interessati dall'opera oggetto di questa relazione possono essere classificati nella categoria "A".

### 6.9.6 Condizioni topografiche

Per le condizioni topografiche si fa riferimento alla seguente classificazione (tab 3.2.III NTC18):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

La morfologia del territorio in cui ricade l'opera, è tale per cui ricade nella categoria topografica T1.

### 6.9.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

### 6.9.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T \leq T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\ T_C \leq T \leq T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \\ T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

nelle quali  $T$  ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Inoltre:

- $S$ : è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:  $S = S_S \times S_T$ ;  $S_S$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica riportati nelle tabelle seguenti;
- $\eta$ : è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi dal 5%, mediante la relazione:  
$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$
 dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- $F_0$ : è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;

Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

- $T_C$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:  
 $T_C = C_c \cdot T_C^*$ ; dove  $C_c$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;  
 $T_B = T_C / 3$  ;
- $T_D$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro,

espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

6.9.9 Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti verticali

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

nelle quali  $T$  e  $S_{ve}$  sono rispettivamente il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale verticale, mentre  $F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $S$ ,  $\eta$  sono quelli già definiti per le componenti orizzontali; i valori di  $S_s$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , sono invece quelli riportati nella tabella seguente.

Tab. 3.2.VI - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

6.9.10 Spettri di progetto in accelerazione

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.077 g
$F_0^*$	2.565
$T_C^*$	0.472 s
$S_S$	1.000
$C_C$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.000
$\eta$	1.000
$T_B$	0.157 s
$T_C$	0.472 s
$T_D$	1.907 s

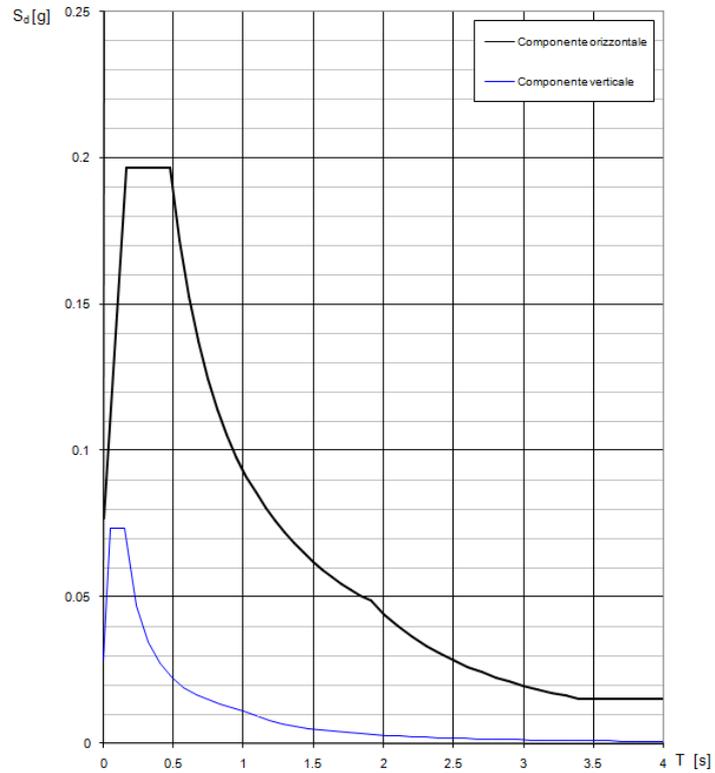


Figura 6-4: Spettri di progetto SLV

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLC
$a_n$	0.100 g
$F_0^*$	2.626
$T_C^*$	0.518 s
$S_S$	1.000
$C_C$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.000
$\eta$	1.000
$T_B$	0.173 s
$T_C$	0.518 s
$T_D$	2.002 s

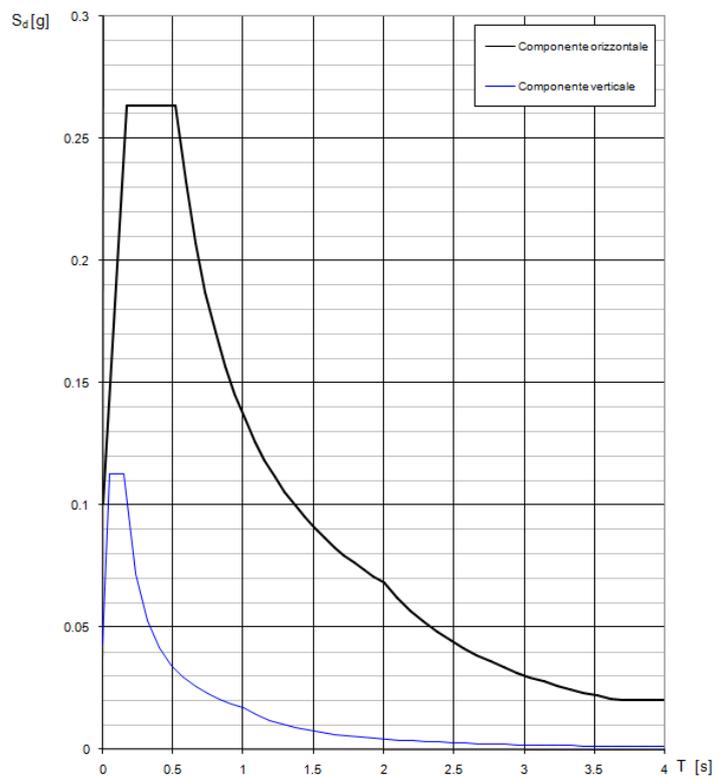


Figura 6-5: Spettri di progetto SLC

## 7. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, in osservanza ai §5.1.3.14 e §5.2.3 delle NTC18, si dovranno considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV, combinate considerando gli stati limite di esercizio, gli stati limite ultimi e le condizioni sismiche.

Tab. 5.1.IV - Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5KN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

La Tab. 5.1.V fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

I valori dei coefficienti  $\Psi_{0j}$ ,  $\Psi_{1j}$  e  $\Psi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
			1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
			1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
			1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
			1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
			1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
			1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Agli stati limite di esercizio si sono considerate le verifiche per le combinazioni rara e frequente.

Le condizioni di carico di cui ai paragrafi precedenti sono state combinate secondo quanto indicato dalle norme tecniche sulle costruzioni NTC18.

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

– Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo “+” vuol dire “combinato con”.

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{G1}$  e  $\gamma_{Q1}$  sono dati nel § 2.6.1.

## 7.1 Impalcato

	Verifiche SLU	Verifiche SLE
G1 - IMPALCATO	1.35	1.00
G1 - SOLETTA	1.35	1.00
G2 - PERMANENTI	1.50	1.00
Q1 - MOBILIKK	1.50	1.00
P - PRECOMPRESSIONE	0.90	1.00

## 7.2 Pile

	ENV_SLE_R					ENV_SLE_F			ENV_SLU_STR				
	SLE_CARATTERISTICHE (RARE)					SLE_FREQ. - Q. PERM.			SLU_STR				
COND. CARICO ELEM.	SLE_R_P	SLE_R_VC	SLE_R_1	SLE_R_2a	SLE_R_2b	SLE_F_P	SLE_F_VC	SLE_F_1	SLU_P	SLU_VC	SLU_1	SLU_2a	SLU_2b
G1-IMPALCATO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1-SOLETTA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1-PILA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G2-PERMANENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
E1-DISTORSIONI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
E2-RITIRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
E4-CEDIMENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Q1-MOBILI-KK			1.00							1.35		1.35	1.35
Q1-MOBILI-FQ		1.00		1.00	1.00			1.00					
Q3-FRENATURA				1.00								1.35	
Q4-CENTRIFUGA					1.00								1.35
Q5-VENTO-C		1.00	0.60	0.60	0.60		0.20			1.50	0.90	0.90	0.90
Q7-ATTRITO-P	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Q6-SISMA_L													
Q6-SISMA_T													
Q6-SISMA_V													
G1-PESO_FONDAZIONE	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1-PESO_RINTERRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Q6-INERZIA_MASSE_L													
Q6-INERZIA_MASSE_T													
Q6-INERZIA_MASSE_V													

	ENV_SLU_SIS						ENV_SLU_GEO					EQU		
	SLV SISMICA						SLU_GEO					EQU		
COND. CARICO ELEM.	SLU_SL1	SLU_SL2	SLU_ST1	SLU_ST2	SLU_V1	SLU_V2	SLU_G_P	SLU_G_VC	SLU_G_1	SLU_G_2a	SLU_G_2b	EQU_1	EQU_2	EQU_3
G1-IMPALCATO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G1-SOLETTA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G1-PILA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G2-PERMANENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50			0.9
E1-DISTORSIONI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
E2-RITIRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20			
E4-CEDIMENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20			
Q1-MOBILI-KK									1.35			1.35		
Q1-MOBILI-FQ								1.35		1.35	1.35			
Q3-FRENATURA										1.35		1.35		
Q4-CENTRIFUGA											1.15			
Q5-VENTO-C								1.50	0.90	0.90	0.90	1.5	1.5	
Q7-ATTRITO-P							1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.5	1.5	
Q6-SISMA_L	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30								
Q6-SISMA_T	0.30	0.30	1.00	1.00	0.30	0.30								
Q6-SISMA_V	0.30	-0.30	0.30	-0.30	1.00	-1.00								
G1-PESO_FONDAZIONE	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G1-PESO_RINTERRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
Q6-INERZIA_MASSE_L	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30								
Q6-INERZIA_MASSE_T	0.30	0.30	1.00	1.00	0.30	0.30								
Q6-INERZIA_MASSE_V	0.30	-0.30	0.30	-0.30	1.00	-1.00								

### 7.3 Spalle

COND. CARICO ELEM.	ENV_SLE_R					ENV_SLE_F			ENV_SLU_STR				
	SLE_CARATTERISTICHE (RARE)					SLE_FREQ. - Q. PERM.			SLU_STR				
	SLE_R_P	SLE_R_VC	SLE_R_1	SLE_R_2a	SLE_R_2b	SLE_F_P	SLE_F_VC	SLE_F_1	SLU_P	SLU_VC	SLU_1	SLU_2a	SLU_2b
G1-IMPALCATO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1-SOLETTA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G2-PERMANENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
E1-DISTORSIONI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
E2-RITIRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
E4-CEDIMENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Q1-MOBILI-KK			1.00							1.35			
Q1-MOBILI-FQ		1.00		1.00	1.00			1.00		1.35		1.35	1.35
Q3-FRENATURA				1.00								1.35	
Q4-CENTRIFUGA					1.00								1.35
Q5-VENTO-C		1.00	0.60	0.60	0.60		0.20			1.50	0.90	0.90	0.90
Q7-ATTRITO-P	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Q6-SISMA_L													
Q6-SISMA_T													
Q6-SISMA_V													
G1-PESO_SPALLA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G1-PESO_RINTERRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
G3-SPINTA_TERRA_STA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
Q1-SPINTA_MOBILI		1.00	1.00	1.00	1.00			1.00		1.35	1.35	1.35	1.35
Q3-FRENATURA_PARA				1.00								1.35	
G3-SPINTA_TERRA_SIS													
Q6-SOVRASPINTA_L													
Q6-INERZIA_MASSE_L													
Q6-INERZIA_MASSE_TP													
Q6-INERZIA_MASSE_TN													
Q6-INERZIA_MASSE_V													

COND. CARICO ELEM.	ENV_SLU_SIS						ENV_SLU_GEO					EQU		
	SLV SISMICA						SLU_GEO					EQU		
	SLU_SL1	SLU_SL2	SLU_ST1	SLU_ST2	SLU_V1	SLU_V2	SLU_G_P	SLU_G_VC	SLU_G_1	SLU_G_2a	SLU_G_2b	EQU_1	EQU_2	EQU_3
G1-IMPALCATO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G1-SOLETTA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G2-PERMANENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50			0.9
E1-DISTORSIONI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
E2-RITIRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20			
E4-CEDIMENTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20			
Q1-MOBILI-KK									1.35			1.35		
Q1-MOBILI-FQ								1.35		1.35	1.35			
Q3-FRENATURA										1.35		1.35		
Q4-CENTRIFUGA											1.15			
Q5-VENTO-C								1.50	0.90	0.90	0.90	1.5	1.5	
Q7-ATTRITO-P							1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.5	1.5	
Q6-SISMA_L	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30								
Q6-SISMA_T	0.30	-0.30	1.00	-1.00	0.30	-0.30								
Q6-SISMA_V	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	1.00								
G1-PESO_SPALLA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G1-PESO_RINTERRO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35			0.9
G3-SPINTA_TERRA_STA							1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.1	1.1	
Q1-SPINTA_MOBILI								1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	
Q3-FRENATURA_PARA										1.35		1.35	1.35	
G3-SPINTA_TERRA_SIS	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00								
Q6-SOVRASPINTA_L	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30								
Q6-INERZIA_MASSE_L	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30								
Q6-INERZIA_MASSE_TP	0.30		1.00		0.30									
Q6-INERZIA_MASSE_TN		0.30		1.00		0.30								
Q6-INERZIA_MASSE_V	0.30	-0.30	0.30	-0.30	1.00	-1.00								

## 8. RISULTATI

### 8.1 ANALISI MODALE

Si riportano di seguito i principali risultati dell'analisi modale.

I modi considerati sono 500; le masse associate all'analisi modale sono costituite dal peso proprio dell'impalcato, dai carichi permanenti portati e dal peso proprio delle sottostrutture, in accordo con quanto prescritto dalla normativa.

La percentuale di massa eccitata nelle tre direzioni ortogonali è illustrata nella seguente tabella.

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODALE	Acceleration	UX	99.9993	97.8337
MODALE	Acceleration	UY	99.9994	98.0312
MODALE	Acceleration	UZ	99.9994	96.1456

Si riportano, nella seguente tabella, per i primi 20 modi di vibrare, i valori dei periodi e delle frequenze.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODALE	Mode	1	0.331876	3.01	18.93	358.43
MODALE	Mode	2	0.232606	4.30	27.01	729.66
MODALE	Mode	3	0.212906	4.70	29.51	870.93
MODALE	Mode	4	0.159634	6.26	39.36	1549.21
MODALE	Mode	5	0.149055	6.71	42.15	1776.93
MODALE	Mode	6	0.107446	9.31	58.48	3419.65
MODALE	Mode	7	0.104403	9.58	60.18	3621.87
MODALE	Mode	8	0.101951	9.81	61.63	3798.17
MODALE	Mode	9	0.096482	10.36	65.12	4240.97
MODALE	Mode	10	0.095336	10.49	65.91	4343.53
MODALE	Mode	11	0.093426	10.70	67.25	4523.00
MODALE	Mode	12	0.088454	11.31	71.03	5045.75
MODALE	Mode	13	0.07991	12.51	78.63	6182.40
MODALE	Mode	14	0.077408	12.92	81.17	6588.47
MODALE	Mode	15	0.076565	13.06	82.06	6734.42
MODALE	Mode	16	0.05744	17.41	109.39	11965.32
MODALE	Mode	17	0.055922	17.88	112.36	12623.87
MODALE	Mode	18	0.055658	17.97	112.89	12744.02
MODALE	Mode	19	0.055115	18.14	114.00	12996.32
MODALE	Mode	20	0.050774	19.70	123.75	15313.59

Si riportano nella seguente tabella, per i primi 20 modi di vibrare, le percentuali di massa eccitata nelle tre direzioni ortogonali.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios															
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless											
MODALE	Mode	1	0.331876	1%	0%	28%	1%	0%	28%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MODALE	Mode	2	0.232606	3%	55%	0%	4%	55%	28%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MODALE	Mode	3	0.212906	0%	8%	0%	4%	64%	28%	22%	0%	0%	23%	0%	0%
MODALE	Mode	4	0.159634	71%	0%	1%	75%	64%	29%	0%	0%	1%	23%	0%	1%
MODALE	Mode	5	0.149055	1%	0%	0%	76%	64%	30%	0%	0%	43%	23%	0%	44%
MODALE	Mode	6	0.107446	13%	6%	0%	88%	70%	30%	6%	0%	0%	29%	0%	44%
MODALE	Mode	7	0.104403	1%	1%	0%	89%	71%	30%	0%	0%	0%	30%	0%	44%
MODALE	Mode	8	0.101951	0%	0%	9%	89%	71%	38%	0%	1%	27%	30%	1%	71%
MODALE	Mode	9	0.096482	0%	0%	3%	90%	71%	42%	0%	44%	4%	30%	45%	75%
MODALE	Mode	10	0.095336	0%	0%	19%	90%	71%	61%	0%	11%	6%	30%	56%	81%
MODALE	Mode	11	0.093426	0%	0%	0%	90%	72%	61%	0%	2%	0%	30%	58%	81%
MODALE	Mode	12	0.088454	0%	6%	0%	90%	78%	61%	9%	4%	0%	40%	62%	82%
MODALE	Mode	13	0.07991	0%	0%	0%	90%	78%	61%	0%	0%	2%	40%	62%	83%
MODALE	Mode	14	0.077408	0%	0%	0%	90%	78%	61%	0%	0%	2%	40%	62%	85%
MODALE	Mode	15	0.076565	1%	6%	0%	91%	84%	61%	6%	0%	0%	46%	62%	85%
MODALE	Mode	16	0.05744	0%	0%	0%	91%	84%	61%	0%	0%	2%	46%	62%	87%
MODALE	Mode	17	0.055922	0%	0%	0%	91%	84%	61%	0%	0%	0%	46%	62%	87%
MODALE	Mode	18	0.055658	0%	0%	0%	91%	84%	61%	0%	0%	1%	46%	62%	87%
MODALE	Mode	19	0.055115	0%	0%	0%	91%	84%	61%	0%	0%	0%	46%	62%	88%
MODALE	Mode	20	0.050774	0%	0%	0%	91%	84%	61%	0%	0%	0%	46%	62%	88%

Si riportano di seguito le deformate modali della struttura nei primi modi di vibrare.

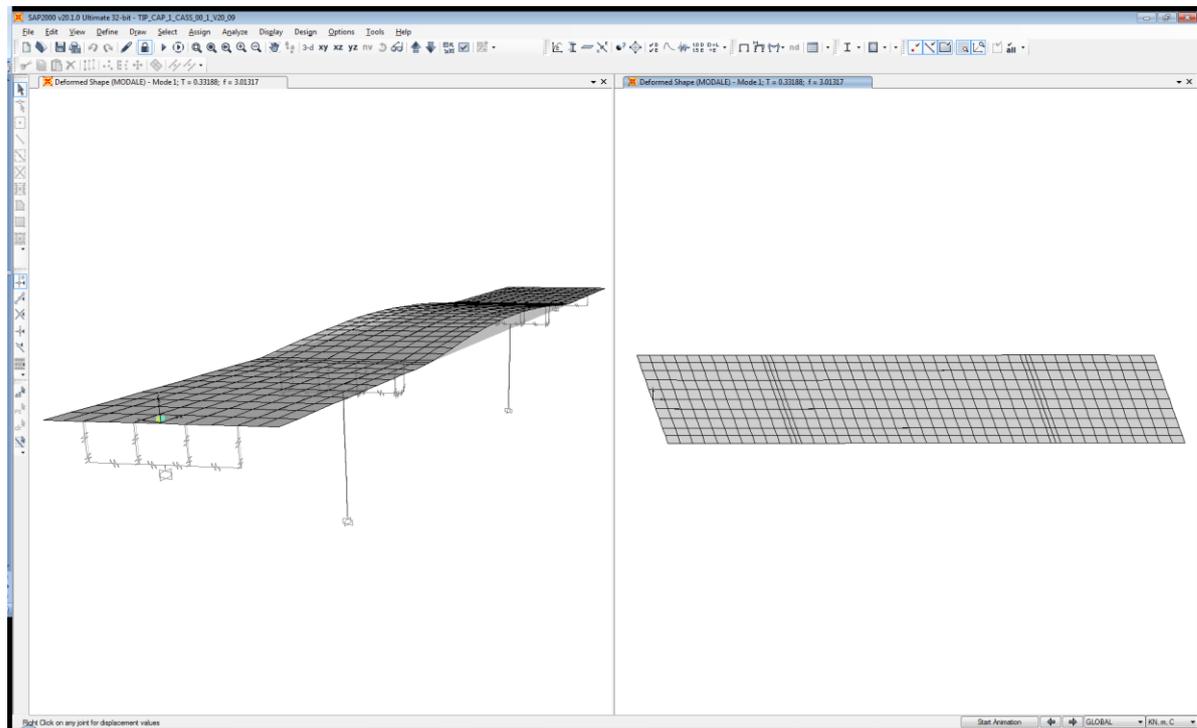


Figura 8-1: Deformata modale modo n°1

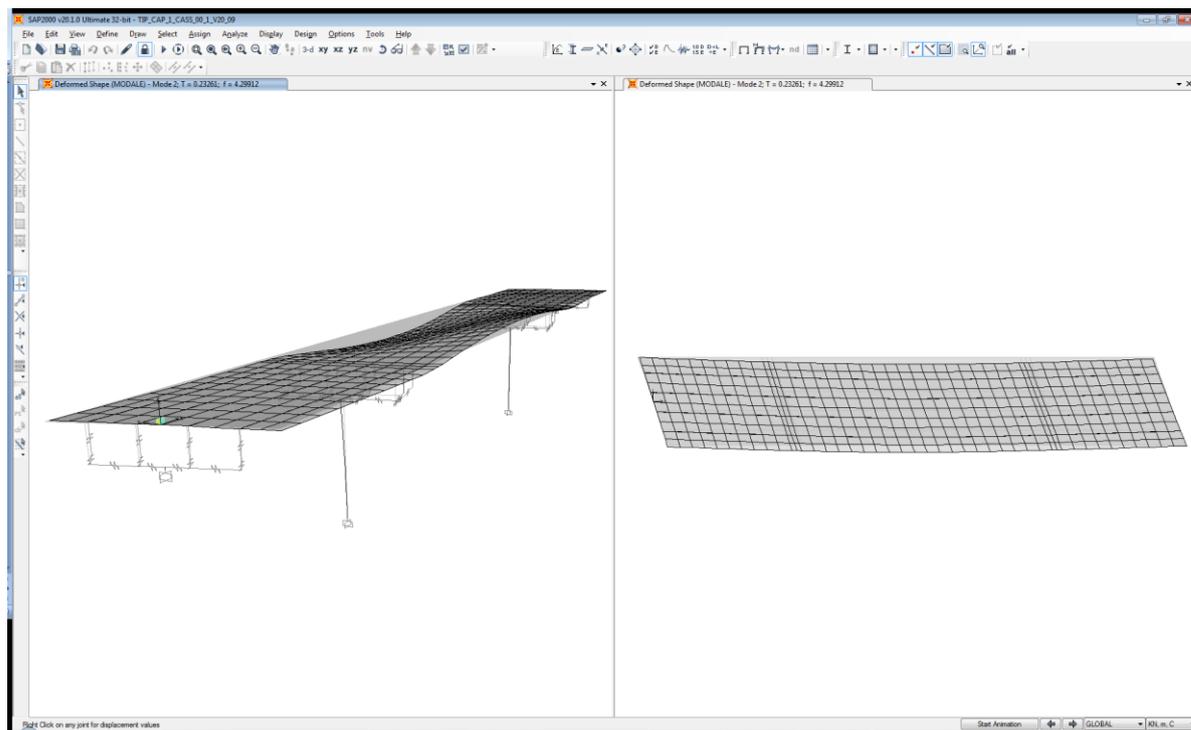
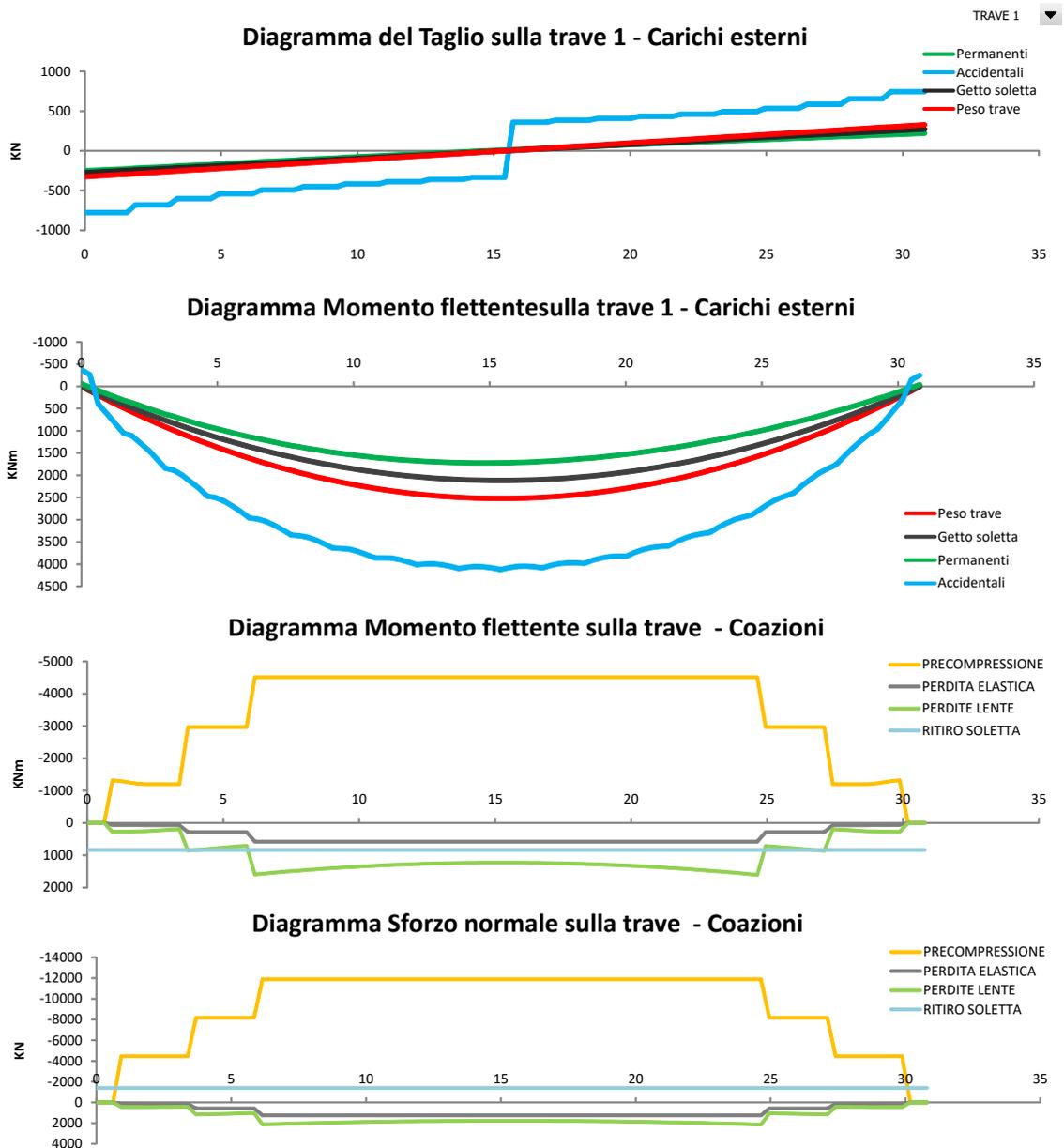


Figura 8-2: Deformata modale modo n°2

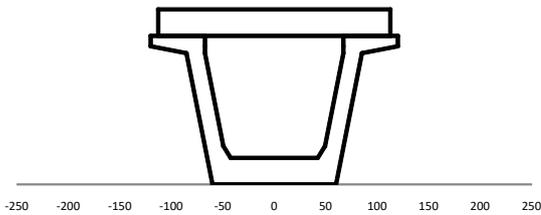
## 8.2 DIAGRAMMI SOLLECITAZIONI



## 9. VERIFICHE IMPALCATO

### 9.1 Caratteristiche trave in c.a.p.

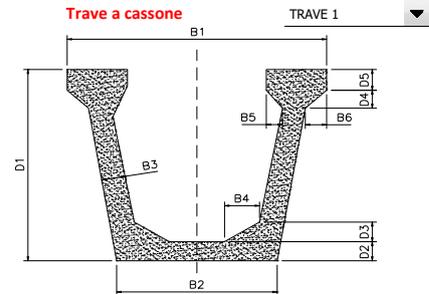
SEZIONE TIPO A



A=	8222.1	cm <sup>2</sup>	
S <sub>x</sub> =	502613.3	cm <sup>3</sup>	
Y <sub>g</sub> =	61.13	cm	
J=	18806870.7	cm <sup>4</sup>	
B soletta=	240.0	cm	<input checked="" type="checkbox"/> Bcoll-soletta = Int.travi
sp soletta=	25.0	cm	<input checked="" type="checkbox"/> Soletta e perm unif. sulle travi
A=	13857.3	cm <sup>2</sup>	
S <sub>x</sub> =	1361980.7	cm <sup>3</sup>	
Y <sub>g</sub> =	98.29	cm	
J=	47014521.8	cm <sup>4</sup>	
k= 4Ω <sup>2</sup> /ΣI/s=	53909148.9	cm <sup>4</sup>	

Sezione costante

Trave a cassone

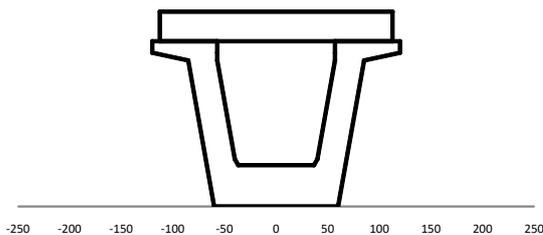


D1= 140  
 D2= 25  
 D3= 11.3  
 D4= 6.5  
 D5= 9.8

B1= 240  
 B2= 120  
 B3= 17.6  
 B4= 7.2  
 B5= 0  
 B6= 34.8

H=	140.0	cm	} TRAVE
W <sub>inf</sub> =	307655.8	cm <sup>3</sup>	
W <sub>sup</sub> =	238452.8	cm <sup>3</sup>	
Peso proprio trave=	20.56	KN/m	
n trave/soletta=	0.94		
B <sub>eff</sub> =	225.4	cm	
H=	165.0	cm	} TRAVE + SOLETTA
W <sub>inf</sub> =	478343.0	cm <sup>3</sup>	
W <sub>sup</sub> =	704719.7	cm <sup>3</sup>	
Peso proprio soletta=	17.86	KN/m	

SEZIONE TIPO B



A=	11284.4	cm <sup>2</sup>	
S <sub>x</sub> =	716967.3	cm <sup>3</sup>	
Y <sub>g</sub> =	63.54	cm	
J=	23163546.2	cm <sup>4</sup>	
B soletta=	240.0	cm	<input checked="" type="checkbox"/> Bcoll-soletta = Int.travi
sp soletta=	25.0	cm	<input checked="" type="checkbox"/> Soletta e perm unif. sulle travi
k= 4Ω <sup>2</sup> /ΣI/s=	62120238.7	cm <sup>4</sup>	
A=	16919.6	cm <sup>2</sup>	
S <sub>x</sub> =	1576334.7	cm <sup>3</sup>	
Y <sub>g</sub> =	93.17	cm	
J=	53202848.9	cm <sup>4</sup>	

D1= 140  
 D2= 35  
 D3= 5.1  
 D4= 6.5  
 D5= 9.8

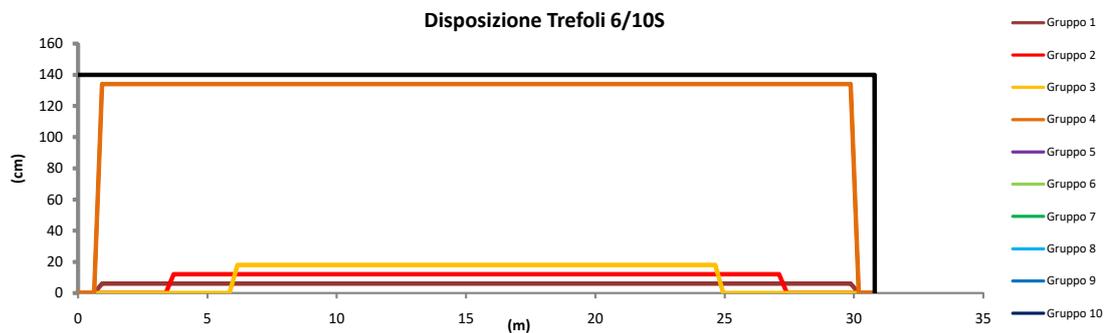
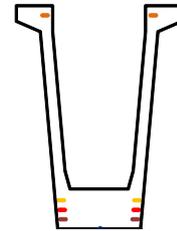
B1= 240  
 B2= 120  
 B3= 27.6  
 B4= 3.3  
 B5= 0  
 B6= 34.8

H=	140.0	cm	} TRAVE
W <sub>inf</sub> =	364573.2	cm <sup>3</sup>	
W <sub>sup</sub> =	302934.3	cm <sup>3</sup>	
Peso proprio trave=	28.21	KN/m	
n trave/soletta=	0.94		
B <sub>eff</sub> =	225.4	cm	
H=	165.0	cm	} TRAVE + SOLETTA
W <sub>inf</sub> =	571053.5	cm <sup>3</sup>	
W <sub>sup</sub> =	740637.4	cm <sup>3</sup>	
Peso proprio soletta=	17.86	KN/m	

## 9.2 Precompressione e armatura lenta

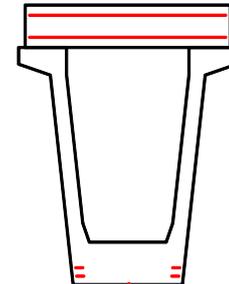
Tensione limite iniziale 1488.0 Mpa Trefoli  diametro Trefoli 6/10S 6/10S  13.8 mm  
 Tensione di tesatura iniziale 1240.0 Mpa area Trefoli 6/10S 150.0 mmq  
 Lunghezza di trasferimento della precompressione 0.90 m

Disposizione Trefoli 6/10S							
	n.	y (cm)	A <sub>tot</sub> (mmq)	L <sub>eff</sub> (m)	σ <sub>spl</sub> (Mpa)	N <sub>prec</sub> (KN)	M <sub>prec</sub> (KNm)
gruppo 1	19	6	2850	0.90	1240.0	-3534	-1948.3
gruppo 2	20	12	3000	3.40	1240.0	-3720	-1827.6
gruppo 3	20	18	3000	5.90	1240.0	-3720	-1604.4
gruppo 4	5	134	750	0.90	1240.0	-930	677.7

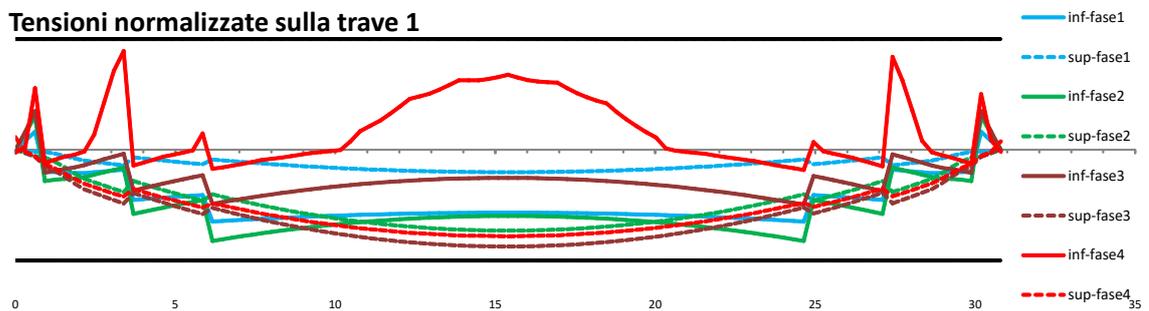


Disposizione armature lente					
	n.	y (cm)	φ (mm)	A <sub>tot</sub> (mmq)	x0 (m)
gruppo 1	12	5	16	2412.7	0.0
gruppo 2	10	10	16	2010.6	0.0
gruppo 11	22	146	14	3386.6	0.0
gruppo 12	22	159	14	3386.6	0.0

Armatura lenta nella trave  
 Armatura lenta in soletta



### Tensioni normalizzate sulla trave 1



### 9.3 Perdite differite nel tempo

#### RI TIRO DEL CLS TRAVE

Resistenza cubica caratteristica	$R_{ck} =$	55.0 Mpa
Resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	$f_{ck} =$	45.0 Mpa
Umidità relativa		75 %
Area della sezione di calcestruzzo	$A_c =$	14222 cm <sup>2</sup>
Perimetro della sezione esposto all'aria	$u =$	1160 cm
Dimensione fittizia	$h_0 = 2 A_c / u =$	245 mm
Deformazione per ritiro autogeno	$\epsilon_{ca} =$	-8.75E-05
	$\epsilon_{cd} =$	-2.61E-04
	$k_{R1} =$	0.805
Deformazione per ritiro da essiccamento a $t = \infty$	$\epsilon_{cd, \infty} =$	-2.10E-04
Età del cls a partire dal quale si considera il ritiro	$t_s =$	30 gg
Età del cls nel momento considerato	$t =$	500000 gg
	$\beta(\infty) =$	0.99969
	$\epsilon_{cd}(\infty) =$	-2.10E-04
<b>Deformazione totale da ritiro a <math>t = \infty</math></b>	<b><math>\epsilon_{cs}(\infty) =</math></b>	<b>-2.97E-04</b>

$f_{ck}$	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0.62	-0.58	-0.49	-0.30	-0.17	+0.00
40	-0.48	-0.46	-0.38	-0.24	-0.13	+0.00
60	-0.38	-0.36	-0.30	-0.19	-0.10	+0.00
80	-0.30	-0.28	-0.24	-0.15	-0.07	+0.00

Tabella 11.2.Va - Valori di  $\epsilon_{c0}$

$h_0$ (mm)	$k_{R1}$
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥500	0.70

Tabella 11.2.Vb - Valori di  $k_{R1}$

Riduzione per additivi

↓

60%

Ritiro di calcolo

↓

-1.78E-04

#### VISCOSITA'

Coeff. di viscosità a $t = \infty$	$\phi(\infty, t_s) =$	1.973
<input checked="" type="checkbox"/> Viscosità		

Tabella 11.2.VI - Valori di  $\phi(\infty, t_s)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%

$t_0$	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	3.5	3.2	3.0	2.8
7 giorni	2.9	2.7	2.5	2.3
15 giorni	2.6	2.4	2.2	2.1
30 giorni	2.3	2.1	1.9	1.8
≥ 60giorni	2.0	1.8	1.7	1.6

Tabella 11.2.VII - Valori di  $\phi(\infty, t_s)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%

$t_0$	$h_0 \leq 75$ mm	$h_0 = 150$	$h_0 = 300$	$h_0 \geq 600$
3 giorni	4.5	4.0	3.6	3.3
7 giorni	3.7	3.3	3.0	2.8
15 giorni	3.3	3.0	2.7	2.5
30 giorni	2.9	2.6	2.3	2.2
≥ 60giorni	2.5	2.3	2.1	1.9

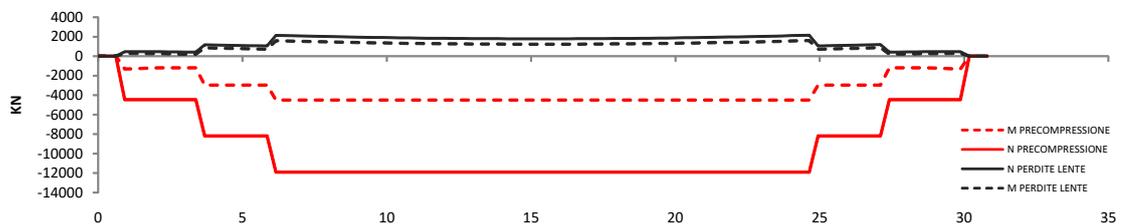
#### CADUTE DI TENSIONE PER RILASSAMENTO

Tensione iniziale nel cavo	$\sigma_{spi} =$	1240.0 Mpa
Resistenza caratteristica dell'acciaio da precompressione	$f_{pk} =$	1670.0 Mpa
Perdita percentuale per rilass. a 1000 ore, a 20°C e con $\sigma_{sp} = 0.7 f_p$	$\rho_{1000} =$	2.50 Mpa
	$\mu = \sigma_{spi} / f_{pk} =$	0.743
Tempo dalla messa in tensione	$t =$	500000 ore

$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 5,39 \rho_{1000} e^{0,7\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$	Trecce, fili, trefoli ordinari a normale rilassamento
$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0,66 \rho_{1000} e^{0,11\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$	Trecce, fili, trefoli stabilizzati a basso rilassamento
$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 1,98 \rho_{1000} e^{0,80\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$	Barre laminate

Nel nostro caso trattandosi di: Trefoli stabilizzati	$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} =$	0.047
Caduta di tensione per rilassamento al tempo $t = 500000$ ore	$\Delta\sigma_{pr} =$	58.42 Mpa

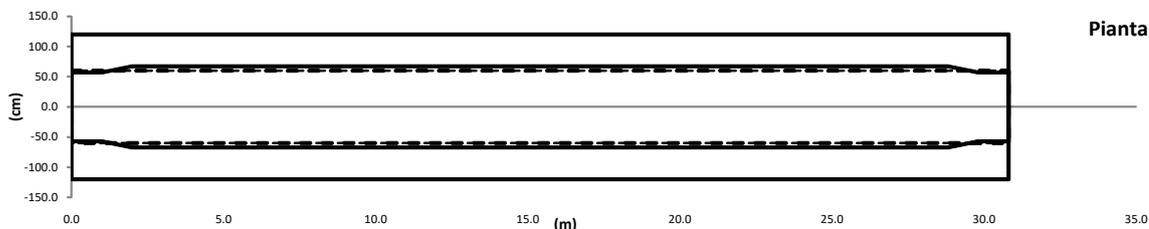
Diagramma M/N sulla trave 1 - Precompressione e perdite



## 9.4 Caratteristiche sezioni di verifica

L = Lunghezza trave =	30.8	m	<input type="checkbox"/> Sezione costante
Lunghezza retrotrave	0.4	m	
Lunghezza concio di calcolo =	0.308	m	
n. conci di calcolo =	100		
L1 = Lunghezza sezione corrente tipo A =	26.8	m	
L2 = Lunghezza sezione variabile AB-BA =	1.0	m	
L3 = Lunghezza sezione di appoggio tipo B =	1.0	m	

	xin (m)	xfin (m)
<b>TIPO BB</b>	0.00	1.00
<b>TIPO BA</b>	1.00	2.00
<b>TIPO AA</b>	2.00	28.80
<b>TIPO AB</b>	28.80	29.80
<b>TIPO BB</b>	29.80	30.80



Pianta

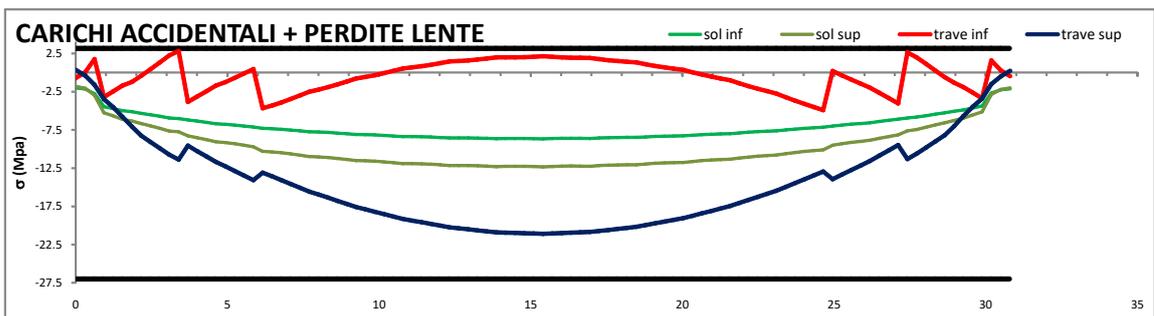
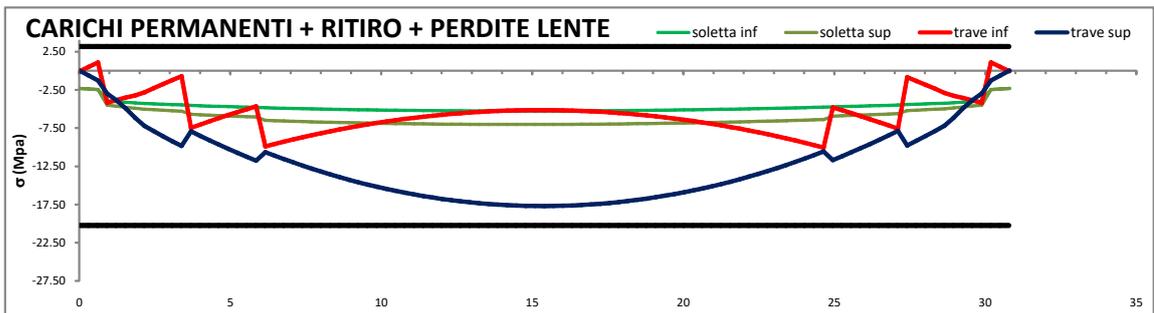
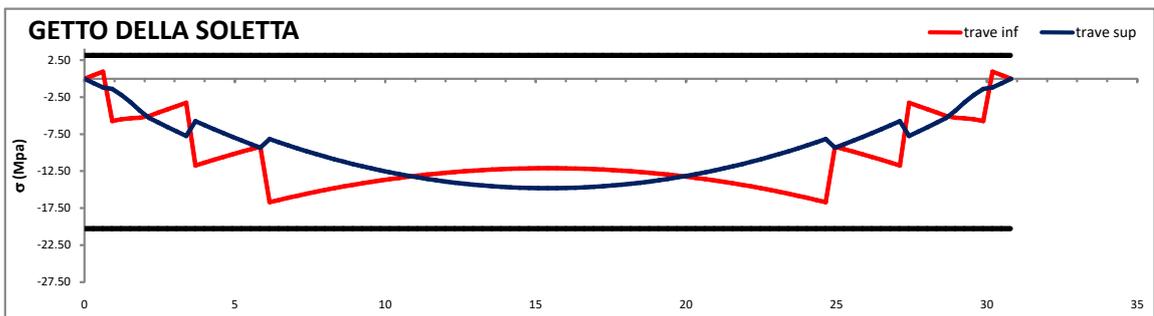
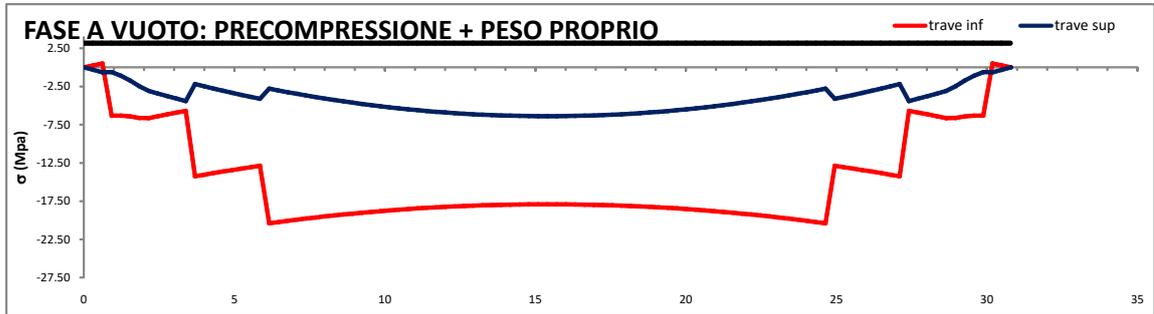
				TRAVE + ARMATURE					
x(m)	Tipo	x(m)	Tipo	x(m)	A <sub>id</sub> (cm <sup>2</sup> )	J <sub>id</sub> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>g</sub> (cm)	W <sub>inf</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>sup</sub> (cm <sup>3</sup> )
0.00	BB	7.70	AA	0.00	11535.6	23942832	62.3	384246	-308189
0.31	BB	8.01	AA	1.54	10127.9	22379293	60.2	371540	-280561
0.62	BB	8.32	AA	3.08	8677.6	20211717	58.9	343150	-249221
0.92	BB	8.62	AA	4.62	8848.0	20579186	58.0	354828	-250958
1.23	BA	8.93	AA	6.16	9018.3	20846551	57.2	364181	-251898
1.54	BA	9.24	AA	7.70	9018.3	20846551	57.2	364181	-251898
1.85	BA	9.55	AA	9.24	9018.3	20846551	57.2	364181	-251898
2.16	AA	9.86	AA	10.78	9018.3	20846551	57.2	364181	-251898
2.46	AA	10.16	AA	12.32	9018.3	20846551	57.2	364181	-251898
2.77	AA	10.47	AA	13.86	9018.3	20846551	57.2	364181	-251898
3.08	AA	10.78	AA	15.40	9018.3	20846551	57.2	364181	-251898
3.39	AA	11.09	AA						
3.70	AA	11.40	AA						
4.00	AA	11.70	AA						
4.31	AA	12.01	AA						
4.62	AA	12.32	AA						
4.93	AA	12.63	AA						
5.24	AA	12.94	AA						
5.54	AA	13.24	AA						
5.85	AA	13.55	AA						
6.16	AA	13.86	AA						
6.47	AA	14.17	AA						
6.78	AA	14.48	AA						
7.08	AA	14.78	AA						
7.39	AA	15.09	AA						

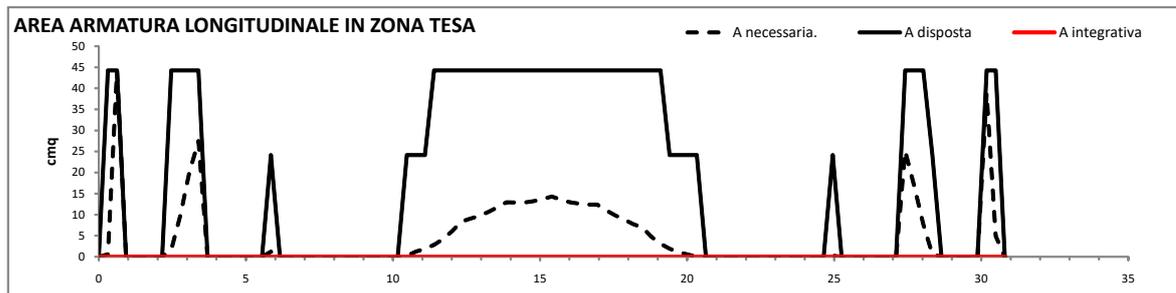
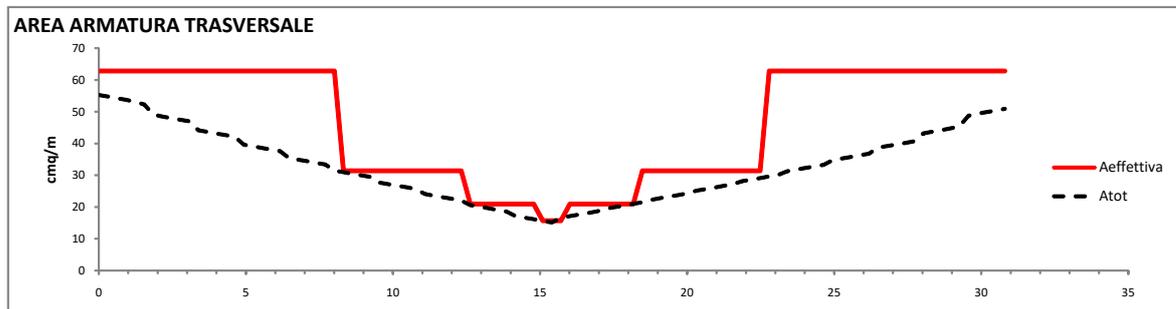
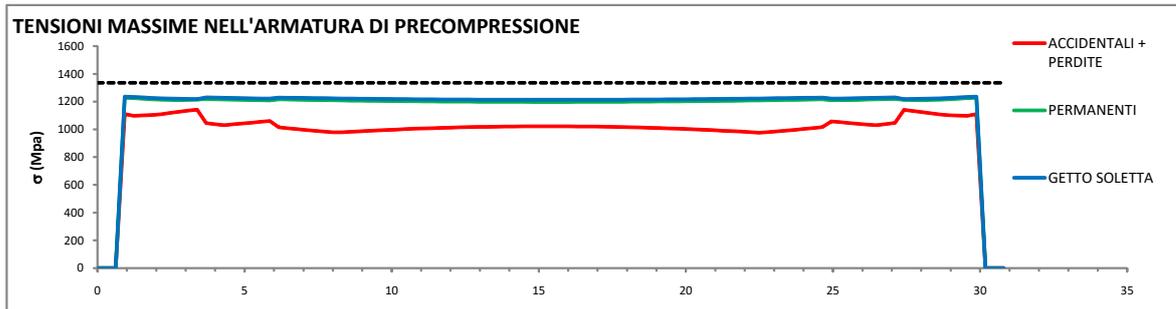
TRAVE + SOLETTA + ARMATURE						
x(m)	A <sub>id</sub> (cm <sup>2</sup> )	J <sub>id</sub> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>g</sub> (cm)	W <sub>inf</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>sup</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>supsol</sub> (cm <sup>3</sup> )
0.00	17555.3	56427310	93.2	605202	-1206669	-786302
1.54	16147.6	54831096	94.6	579425	-1208537	-779185
3.08	14697.4	51659231	97.2	531271	-1208035	-762351
4.62	14867.7	52882557	96.3	549369	-1209034	-769318
6.16	15038.0	53913963	95.4	565289	-1208131	-774338
7.70	15038.0	53913963	95.4	565289	-1208131	-774338
9.24	15038.0	53913963	95.4	565289	-1208131	-774338
10.78	15038.0	53913963	95.4	565289	-1208131	-774338
12.32	15038.0	53913963	95.4	565289	-1208131	-774338
13.86	15038.0	53913963	95.4	565289	-1208131	-774338
15.40	15038.0	53913963	95.4	565289	-1208131	-774338

### 9.5 Diagramma tensioni sulla trave n.1

Effetto della precompressione Ben definita ▼



### 9.6 Diagramma tensioni/aree armature trave n.1



### 9.7 Verifica sezione n.1 – ascissa x = 0,000m

Effetto della precompressione Ben definita ▼

Ascissa di verifica 0.00 ▼  
 Elemento di verifica 1  
 N. Gruppi Trefoli attivi 0  
 $\sigma_{spi}$  Tensione di tesatura = 1240.0 Mpa

**Tensioni dopo le perdite elastiche**

N<sub>prec.</sub> alla tesatura 0.0 KN  
 M<sub>prec.</sub> alla tesatura 0.0 KNm  
 $\Delta N_{perdite\ elastiche}$  0.0 KN  
 $\Delta M_{perdite\ elastiche}$  0.0 KNm  
 Tensione al lembo inferiore trave  $\sigma_{inf}$  0.00 Mpa  
 Tensione al lembo superiore trave  $\sigma_{sup}$  0.00 Mpa

**FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO**

$N_0$  0.0 KN  
 $M_0$  0.0 KNm  
 $A_{id}$  1.1536 mq  
 $S_{id}$  0.7188 mc  
 $Y_{bar}$  62.31 cm  
 $J_{id}$  0.2394 m<sup>4</sup>  
 Tensione al lembo inferiore trave  $\sigma_{inf}$  0.00 Mpa  
 Tensione al lembo superiore trave  $\sigma_{sup}$  0.00 Mpa

**GETTO DELLA SOLETTA**

$N_1$  0.0 KN  
 $M_1$  0.0 KNm  
 $A_{id}$  1.1536 mq  
 $S_{id}$  0.7188 mc  
 $Y_{bar}$  62.31 cm  
 $J_{id}$  0.2394 m<sup>4</sup>  
 Tensione al lembo inferiore trave  $\sigma_{inf}$  0.00 Mpa  
 Tensione al lembo superiore trave  $\sigma_{sup}$  0.00 Mpa

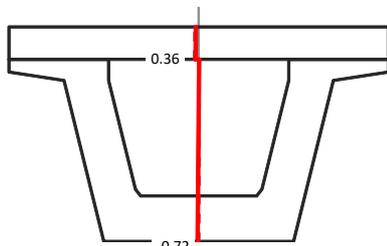
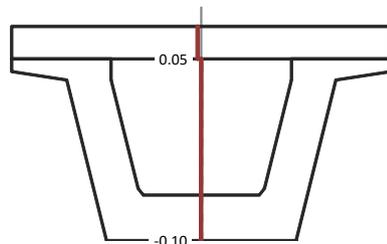
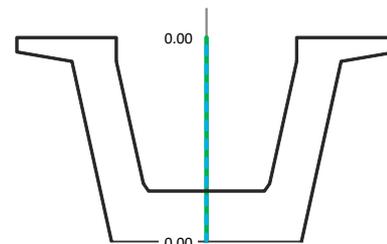
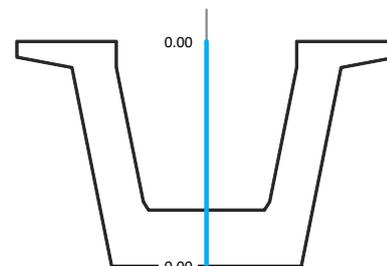
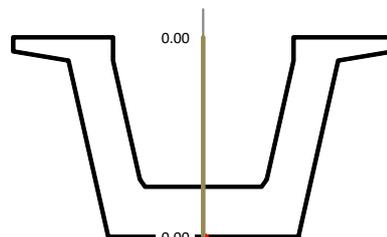
**CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE**

$N_2$  0.0 KN  $\Delta P$  0.0 KN  
 $M_2$  -58.1 KNm  $\Delta Mp$  0.0 KNm  
 $A_{id}$  1.7555 mq  
 $S_{id}$  1.6368 mc  
 $Y_{bar}$  93.24 cm  
 $J_{id}$  0.5643 m<sup>4</sup>  
 Tensione al lembo inferiore trave  $\sigma_{inf}$  -0.10 Mpa  
 Tensione al lembo superiore trave  $\sigma_{sup}$  0.05 Mpa  
 Tensione al lembo inferiore soletta  $\sigma_{is}$  -2.31 Mpa  
 Tensione al lembo superiore soletta  $\sigma_{ss}$  -2.29 Mpa

**CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE**

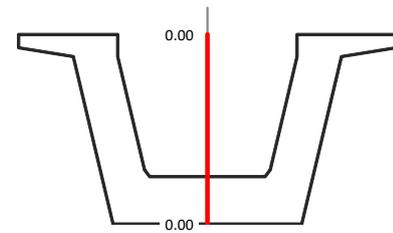
$N_3$  0.0 KN  $\Delta P$  0.0 KN  
 $M_3$  -375.9 KNm  $\Delta Mp$  0.0 KNm  
 $A_{id}$  1.7555 mq  
 $S_{id}$  1.6368 mc  
 $Y_{bar}$  93.24 cm  
 $J_{id}$  0.5643 m<sup>4</sup>  
 Tensione al lembo inferiore trave  $\sigma_{inf}$  -0.72 Mpa  
 Tensione al lembo superiore trave  $\sigma_{sup}$  0.36 Mpa  
 Tensione al lembo inferiore soletta  $\sigma_{is}$  -2.00 Mpa  
 Tensione al lembo superiore soletta  $\sigma_{ss}$  -1.81 Mpa

n.totale Trefoli = 0



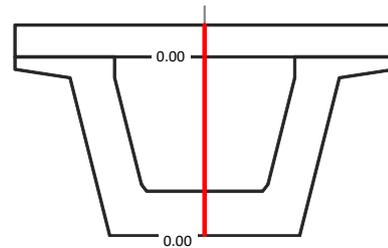
**PERDITE ELASTICHE**

$\sigma_{p0}$	$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN) = 0.0
		$\Delta M$ (KNm) = 0.0
		$\sigma_{inf}$ = 0.00
		$\sigma_{sup}$ = 0.00



**PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO**

$\sigma_{p0}$	$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN) = 0.0
		$\Delta M$ (KNm) = 0.0
		$\sigma_{inf}$ = 0.00
		$\sigma_{sup}$ = 0.00
		$\sigma_{is}$ = 0.00
		$\sigma_{ss}$ = 0.00



**TENSIONI ARMATURA LENTA**

FASE A VUOTO: PRECOMPRESIONE + PESO PROPRIO	Max	Min
GETTO DELLA SOLETTA	0.0	0.0
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	0.4	-0.5
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	2.9	-3.9

**TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESIONE**

FASE A VUOTO: PRECOMPRESIONE + PESO PROPRIO	Max	Min
GETTO DELLA SOLETTA	0.0	0.0
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	0.0	0.0
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	0.0	0.0

**VERIFICA A TAGLIO - SLU**

$V_{Ed} = 2356.0$ KN		ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO		ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO	
$f_{ck} =$	45.00 Mpa	$v_{min} =$	0.375 Mpa	$\alpha_{cc} =$	1.000
$f_{cd} =$	25.50 Mpa	$\sigma_{cp} =$	0.000 Mpa	$V_{Rcd} =$	4799.7 KN
$f'_{cd} =$	12.75 Mpa	$k =$	1.367	$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	47.83 cm <sup>2</sup> /m
$f_{ctd} =$	1.77 Mpa	$A_{sl} =$	112.0 cm <sup>2</sup>	Staffe disposte 4 br. f10/5	59.10 cm <sup>2</sup> /m
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d =$	0.013	$V_{Rsd} =$	3090.7 KN
$d =$	148.5 cm	$\gamma_c =$	1.5	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) =$	3090.7 KN
$b_w =$	56.3 cm	$V_{Rd} =$	537.9 KN	$V_{Rd} > V_{Ed} =$	<b>La verifica è soddisfatta</b>

**VERIFICA A TORSIONE - SLU**

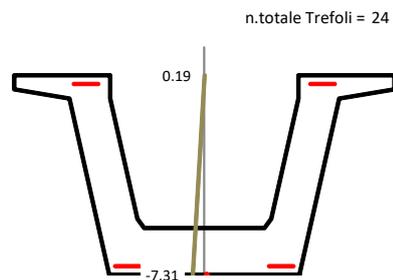
$Mt_{Ed} = 498.8$ KNm		Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
Armatura trasversali		$f'_{cd} =$	12.75 Mpa	$u_m =$	5284.8 mm
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$t =$	276 mm	$A_{minima} =$	19.73 cm <sup>2</sup>
$\theta =$	45 °	$\Omega =$	1707281 mm <sup>2</sup>		
$\Omega =$	1707281 mm <sup>2</sup>	$T_{Rcd} =$	6007.9 KNm		
$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	3.73 cm <sup>2</sup> /m				
$T_{Rsd} =$	498.8 KNm				

**VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO**

$V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$	<b>0.574</b>	<b>La verifica è soddisfatta</b>
--------------------------------------	--------------	----------------------------------

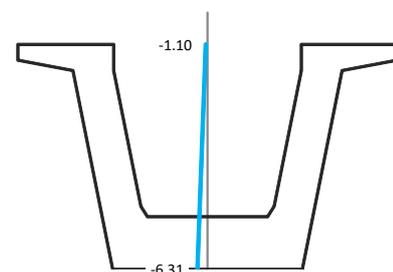
### 9.8 Verifica sezione n.5 – ascissa x = 1,2716m

Effetto della precompressione Favorevole	$\sigma_1$ 1198.9
Ascissa di verifica	1.23 m
Elemento di verifica	5
N. Gruppi Trefoli attivi	2
$\sigma_{spi}$ Tensione di tesatura =	1240.0 Mpa
<b>Tensioni dopo le perdite elastiche</b>	
N <sub>prec.</sub> alla tesatura	-4464.0 KN
M <sub>prec.</sub> alla tesatura	-1294.4 KNm
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$	117.4 KN
$\Delta M_{perdite\ elastiche}$	64.5 KNm
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-7.31 Mpa
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	0.19 Mpa



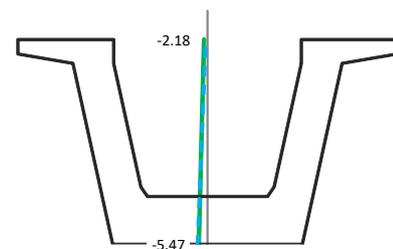
#### FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

$N_0$	-4464.0 KN
$M_0$	-906.8 KNm
$A_{id}$	1.1059 mq
$S_{id}$	0.6760 mc
$Y_{bar}$	61.13 cm
$J_{id}$	0.2372 m <sup>4</sup>
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-6.31 Mpa
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-1.10 Mpa



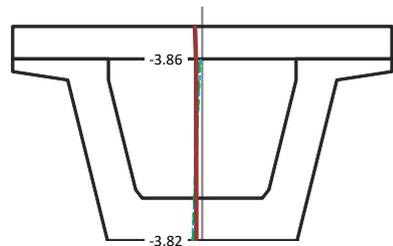
#### GETTO DELLA SOLETTA

$N_1$	0.0 KN
$M_1$	325.2 KNm
$A_{id}$	1.1059 mq
$S_{id}$	0.6760 mc
$Y_{bar}$	61.13 cm
$J_{id}$	0.2372 m <sup>4</sup>
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-5.47 Mpa
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-2.18 Mpa



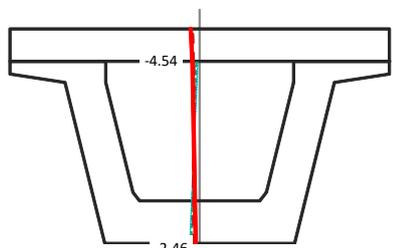
#### CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

$N_2$	-1415.5 KN	$\Delta P$	447.8	KN
$M_2$	1077.9 KNm	$\Delta Mp$	270.7	KNm
$A_{id}$	1.7079 mq			
$S_{id}$	1.5940 mc			
$Y_{bar}$	93.33 cm			
$J_{id}$	0.5657 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-3.82 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-3.86 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-4.04 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-4.63 Mpa			



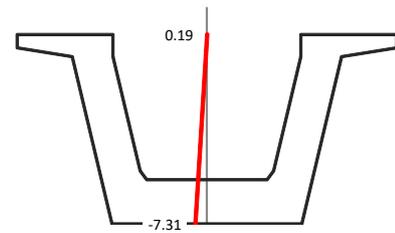
#### CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

$N_3$	0.0 KN	$\Delta P$	447.8	KN
$M_3$	824.0 KNm	$\Delta Mp$	270.7	KNm
$A_{id}$	1.7079 mq			
$S_{id}$	1.5940 mc			
$Y_{bar}$	93.33 cm			
$J_{id}$	0.5657 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-2.46 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-4.54 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-4.72 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-5.68 Mpa			



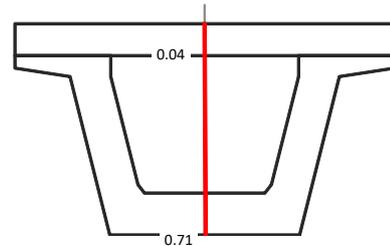
**PERDITE ELASTICHE**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN)= 117.4
<b>gruppo 1</b>	1240.0	-->	-41.1	$\Delta M$ (KNm)= 64.5
				$\sigma_{inf}$ = -7.31
				$\sigma_{sup}$ = 0.19
<b>gruppo 4</b>	1240.0	-->	-0.2	



**PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN)= 447.8
<b>gruppo 1</b>	1198.9	-->	-124.1	$\Delta M$ (KNm)= 270.7
				$\sigma_{inf}$ = 0.71
				$\sigma_{sup}$ = 0.04
<b>gruppo 4</b>	1239.8	-->	-125.4	$\sigma_{ig}$ = 0.04
				$\sigma_{ss}$ = -0.08



**TENSIONI ARMATURA LENTA**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-33.7	-34.8
GETTO DELLA SOLETTA	-29.7	-30.4
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-10.4	-21.7
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	-14.4	-17.5

**TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1239.8	1198.9
GETTO DELLA SOLETTA	1234.1	1203.2
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1225.0	1087.6
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1221.6	1094.9

**VERIFICA A TAGLIO - SLU**

<b>V<sub>Ed</sub> = 2262.4 KN</b>		<b>ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO</b>		<b>ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO</b>	
$f_{ck}$ =	45.00 Mpa	$v_{min}$ =	0.375 Mpa	$\alpha_{cc}$ =	1.158
$f_{cd}$ =	25.50 Mpa	$\sigma_{cp}$ =	4.036 Mpa	$V_{Rcd}$ =	5092.2 KN
$f'_{cd}$ =	12.75 Mpa	$k$ =	1.367	$A_{sw}/s = A_{nec.}$ =	45.82 cm <sup>2</sup> /m
$f_{ctd}$ =	1.77 Mpa	$A_{sl}$ =	112.0 cm <sup>2</sup>	Staffe disposte 4 br. f10/5	59.19 cm <sup>2</sup> /m
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d$ =	0.015	$V_{Rsd}$ =	3095.6 KN
$d$ =	148.5 cm	$\gamma_c$ =	1.5	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$ =	3095.6 KN
$b_w$ =	51.6 cm	$V_{Rd}$ =	971.3 KN	$V_{Rd} > V_{Ed}$ =	<b>La verifica è soddisfatta</b>

**VERIFICA A TORSIONE - SLU**

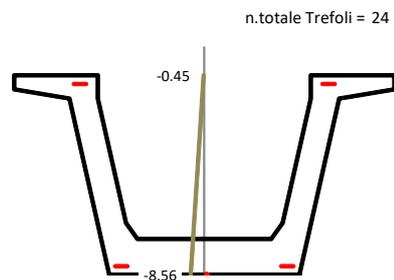
<b>Mt<sub>Ed</sub> = 498.8 KNm</b>		<b>Calcestruzzo</b>		<b>Armatura longitudinali</b>	
<b>Armatura trasversali</b>		$f'_{cd}$ =	12.75 Mpa	$u_m$ =	5351.1 mm
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	$t$ =	252.8 mm	$A_{minima}$	19.48 cm <sup>2</sup>
$\theta$	45 °	$\Omega$	1750972 mm <sup>2</sup>		
$\Omega$	1750972 mm <sup>2</sup>	$T_{Rcd}$ =	5643.7 KNm		
$A_{sw}/s = A_{nec.}$ =	3.64 cm <sup>2</sup> /m				
$T_{Rsd}$ =	498.8 KNm				

**VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO**

$V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$	<b>0.533</b>	<b>La verifica è soddisfatta</b>
--------------------------------------	--------------	----------------------------------

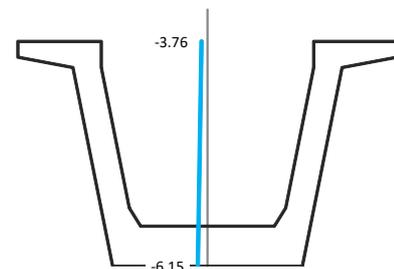
### 9.9 Verifica sezione n.10 – ascissa x = 2,8611m

Effetto della precompressione Favorevole		$\sigma_1$ 1191.4
Ascissa di verifica	2.77 m	
Elemento di verifica	10	
N. Gruppi Trefoli attivi	2	$\sigma_4$ 1236.1
$\sigma_{spi}$ Tensione di tesatura =	1240.0 Mpa	
<b>Tensioni dopo le perdite elastiche</b>		
N <sub>prec.</sub> alla tesatura	-4464.0 KN	
M <sub>prec.</sub> alla tesatura	-1199.3 KNm	
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$	141.4 KN	
$\Delta M_{perdite\ elastiche}$	71.0 KNm	
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-8.56 Mpa	→
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-0.45 Mpa	→



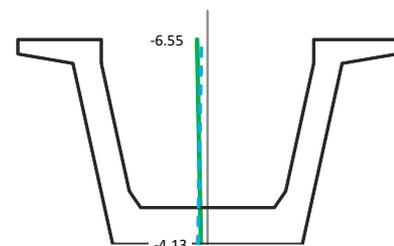
#### FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

$N_0$	-4464.0 KN	
$M_0$	-372.7 KNm	
$A_{id}$	0.8678 mq	
$S_{id}$	0.5111 mc	
$Y_{bar}$	58.90 cm	
$J_{id}$	0.2021 m <sup>4</sup>	
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-6.15 Mpa	→
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-3.76 Mpa	→



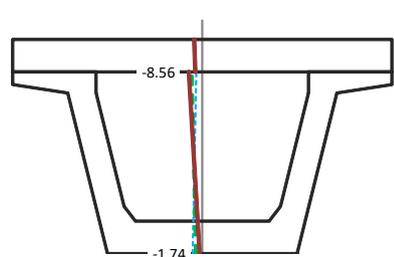
#### GETTO DELLA SOLETTA

$N_1$	0.0 KN	
$M_1$	693.7 KNm	
$A_{id}$	0.8678 mq	
$S_{id}$	0.5111 mc	
$Y_{bar}$	58.90 cm	
$J_{id}$	0.2021 m <sup>4</sup>	
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-4.13 Mpa	→
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-6.55 Mpa	→



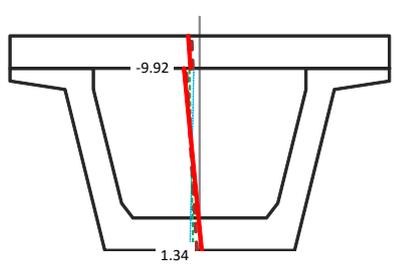
#### CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

$N_2$	-1415.5 KN	$\Delta P$	428.4	KN
$M_2$	1401.9 KNm	$\Delta Mp$	223.2	KNm
$A_{id}$	1.4697 mq			
$S_{id}$	1.4291 mc			
$Y_{bar}$	97.24 cm			
$J_{id}$	0.5166 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-1.74 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-8.56 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-4.38 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-5.16 Mpa			



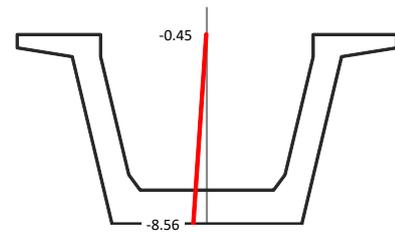
#### CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

$N_3$	0.0 KN	$\Delta P$	428.4	KN
$M_3$	1636.2 KNm	$\Delta Mp$	223.2	KNm
$A_{id}$	1.4697 mq			
$S_{id}$	1.4291 mc			
$Y_{bar}$	97.24 cm			
$J_{id}$	0.5166 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	1.34 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-9.92 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-5.73 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-7.31 Mpa			



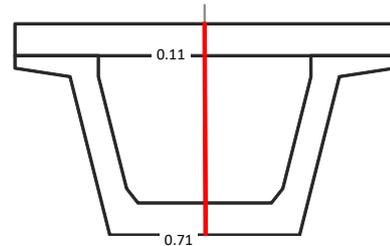
**PERDITE ELASTICHE**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN)= 141.4
<b>gruppo 1</b>	1240.0	-->	-48.6	$\Delta M$ (KNm)= 71.0
				$\sigma_{inf}$ = -8.56
				$\sigma_{sup}$ = -0.45
<b>gruppo 4</b>	1240.0	-->	-3.9	



**PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN)= 428.4
<b>gruppo 1</b>	1191.4	-->	-104.4	$\Delta M$ (KNm)= 223.2
				$\sigma_{inf}$ = 0.71
				$\sigma_{sup}$ = 0.11
<b>gruppo 4</b>	1236.1	-->	-174.6	$\sigma_{ig}$ = 0.11
				$\sigma_{ss}$ = 0.00



**TENSIONI ARMATURA LENTA**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-33.9	-34.4
GETTO DELLA SOLETTA	-23.9	-24.4
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-13.0	-14.8
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	5.3	-26.0

**TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1236.1	1191.4
GETTO DELLA SOLETTA	1221.4	1201.7
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1210.3	1036.5
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1226.7	1029.8

**VERIFICA A TAGLIO - SLU**

$V_{Ed}$ =	1993.8 KN	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO		ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO	
$f_{ck}$ =	45.00 Mpa	$v_{min}$ =	0.375 Mpa	$\alpha_{cc}$ =	1.202
$f_{cd}$ =	25.50 Mpa	$\sigma_{cp}$ =	5.144 Mpa	$V_{Rcd}$ =	3678.2 KN
$f_{ctd}$ =	12.75 Mpa	k =	1.367	$A_{sw}/s = A_{nec.}$ =	40.40 cm <sup>2</sup> /m
$f_{ctd}$ =	1.77 Mpa	$A_{sl}$ =	112.0 cm <sup>2</sup>	Staffe disposte 4 br. f10/5	59.29 cm <sup>2</sup> /m
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d$ =	0.020	$V_{Rsd}$ =	3100.7 KN
d =	148.5 cm	$\gamma_c$ =	1.5	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) =$	3100.7 KN
$b_w$ =	35.9 cm	$V_{Rd}$ =	803.8 KN	$V_{Rd} > V_{Ed} \equiv$ <b>La verifica è soddisfatta</b>	

**VERIFICA A TORSIONE - SLU**

$Mt_{Ed}$ =	526.4 KNm	Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
Armatura trasversali		$f_{ctd}$ =	12.75 Mpa	$u_m$ =	5570.6 mm
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	t =	176 mm	$A_{minima}$	19.73 cm <sup>2</sup>
$\theta$	45 °	$\Omega$	1899129 mm <sup>2</sup>		
$\Omega$	1899129 mm <sup>2</sup>	$T_{Rcd}$ =	4261.6 KNm		
$A_{sw}/s = A_{nec.}$	3.54 cm <sup>2</sup> /m				
$T_{Rsd}$ =	526.4 KNm				

**VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO**

$V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$	0.666	<b>La verifica è soddisfatta</b>
--------------------------------------	-------	----------------------------------

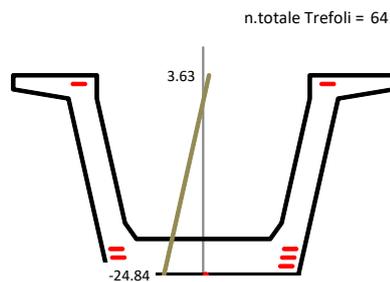
**9.10 Verifica sezione n.34 – ascissa x = 10,4907m**

Effetto della precompressione Favorevole	$\sigma_1$	1090.0
Ascissa di verifica	$\sigma_2$	1097.8
Elemento di verifica	$\sigma_3$	1105.7
N. Gruppi Trefoli attivi	$\sigma_4$	1258.0

$\sigma_{spi}$  Tensione di tesatura = 1240.0 Mpa

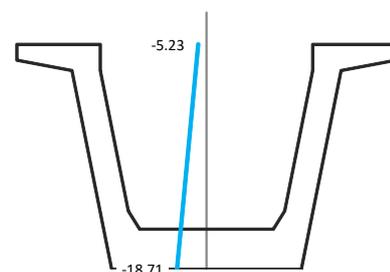
**Tensioni dopo le perdite elastiche**

N <sub>prec.</sub> alla tesatura	-11904.0 KN
M <sub>prec.</sub> alla tesatura	-4512.6 KNm
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$	1243.5 KN
$\Delta M_{perdite\ elastiche}$	580.5 KNm
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-24.84 Mpa
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	3.63 Mpa



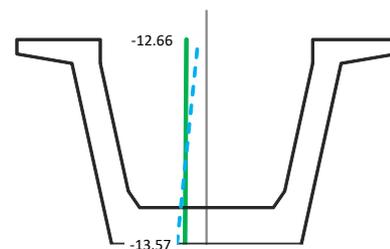
**FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO**

$N_0$	-11904.0 KN
$M_0$	-2280.9 KNm
$A_{id}$	0.9018 mq
$S_{id}$	0.5162 mc
$Y_{bar}$	57.24 cm
$J_{id}$	0.2085 m <sup>4</sup>
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-18.71 Mpa
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-5.23 Mpa



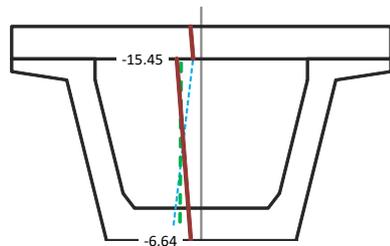
**GETTO DELLA SOLETTA**

$N_1$	0.0 KN
$M_1$	1872.7 KNm
$A_{id}$	0.9018 mq
$S_{id}$	0.5162 mc
$Y_{bar}$	57.24 cm
$J_{id}$	0.2085 m <sup>4</sup>
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-13.57 Mpa
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-12.66 Mpa



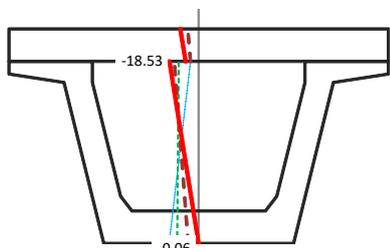
**CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE**

$N_2$	-1415.5 KN	$\Delta P$	1883.3	KN
$M_2$	2397.4 KNm	$\Delta Mp$	1346.3	KNm
$A_{id}$	1.5038 mq			
$S_{id}$	1.4342 mc			
$Y_{bar}$	95.37 cm			
$J_{id}$	0.5391 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-6.64 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-15.45 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-5.15 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-6.88 Mpa			



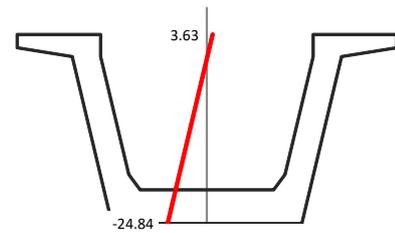
**CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE**

$N_3$	0.0 KN	$\Delta P$	1883.3	KN
$M_3$	3718.0 KNm	$\Delta Mp$	1346.3	KNm
$A_{id}$	1.5038 mq			
$S_{id}$	1.4342 mc			
$Y_{bar}$	95.37 cm			
$J_{id}$	0.5391 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-0.06 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-18.53 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-8.22 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-11.68 Mpa			



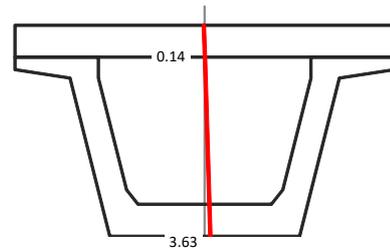
**PERDITE ELASTICHE**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{pe}$	$\Delta N$ (KN)= 1243.5
gruppo 1	1240.0	-->	-150.0	$\Delta M$ (KNm)= 580.5
gruppo 2	1240.0	-->	-142.2	$\sigma_{inf}$ = -24.84
gruppo 3	1240.0	-->	-134.3	$\sigma_{sup}$ = 3.63
gruppo 4	1240.0	-->	18.0	



**PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{pe}$	$\Delta N$ (KN)= 1883.3
gruppo 1	1090.0	-->	-189.8	$\Delta M$ (KNm)= 1346.3
gruppo 2	1097.8	-->	-192.0	$\sigma_{inf}$ = 3.63
gruppo 3	1105.7	-->	-195.1	$\sigma_{sup}$ = 0.14
gruppo 4	1258.0	-->	-241.8	$\sigma_{ig}$ = 0.14
				$\sigma_{ss}$ = -0.49



**TENSIONI ARMATURA LENTA**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-100.8	-103.5
GETTO DELLA SOLETTA	-76.7	-76.9
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-18.1	-41.3
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	-4.1	-48.2

**TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1258.0	1090.0
GETTO DELLA SOLETTA	1218.9	1116.1
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1203.8	962.9
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1188.6	948.5

**VERIFICA A TAGLIO - SLU**

$V_{Ed}$ =	1014.1 KN	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO	
$f_{ck}$ =	45.00 Mpa	$v_{min}$ =	0.375 Mpa
$f_{cd}$ =	25.50 Mpa	$\sigma_{cp}$ =	13.200 Mpa
$f_{ctd}$ =	12.75 Mpa	k =	1.367
$f_{ctd}$ =	1.77 Mpa	$A_{sl}$ =	112.0 cm <sup>2</sup>
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d$ =	0.020
d =	148.5 cm	$\gamma_c$ =	1.5
$b_w$ =	35.9 cm	$V_{Rd}$ =	1448.4 KN

La sezione non necessita di armatura resistente a taglio

**VERIFICA A TORSIONE - SLU**

$Mt_{Ed}$ =	471.2 KNm	Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	$f_{cd}$ =	12.75 Mpa	$u_m$ =	5570.6 mm
$\theta$	45 °	t =	176 mm	$A_{minima}$	17.66 cm <sup>2</sup>
$\Omega$	1899129 mm <sup>2</sup>	$\Omega$	1899129 mm <sup>2</sup>		
$A_{sw}/s = A_{nec.}$	3.17 cm <sup>2</sup> /m	$T_{Rcd}$ =	4261.6 KNm		
$T_{Rsd}$ =	471.2 KNm				

**VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO**

$V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} = 0.385$  La verifica è soddisfatta

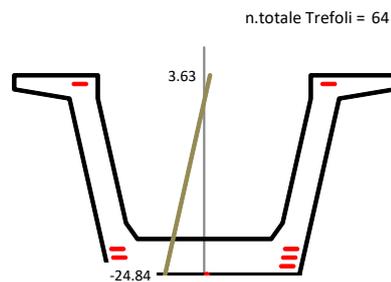
**9.11 Verifica sezione n.51 – ascissa x = 15,8957m**

Effetto della precompressione Favorevole		$\sigma_1$	1090.0
Ascissa di verifica		$\sigma_2$	1097.8
Elemento di verifica		$\sigma_3$	1105.7
N. Gruppi Trefoli attivi		$\sigma_4$	1258.0

$\sigma_{spi}$  Tensione di tesatura = 1240.0 Mpa

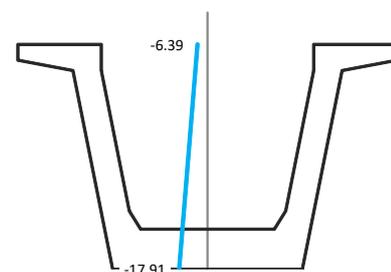
**Tensioni dopo le perdite elastiche**

Nprec. alla tesatura	-11904.0 KN	
Mprec. alla tesatura	-4512.6 KNm	
$\Delta N_{perdite elastiche}$	1243.5 KN	
$\Delta M_{perdite elastiche}$	580.5 KNm	
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-24.84 Mpa	→
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	3.63 Mpa	→



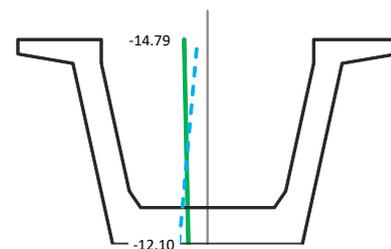
**FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO**

$N_0$	-11904.0 KN	
$M_0$	-1989.2 KNm	
$A_{id}$	0.9018 mq	
$S_{id}$	0.5162 mc	
$Y_{bar}$	57.24 cm	
$J_{id}$	0.2085 m <sup>4</sup>	
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-17.91 Mpa	→
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-6.39 Mpa	→



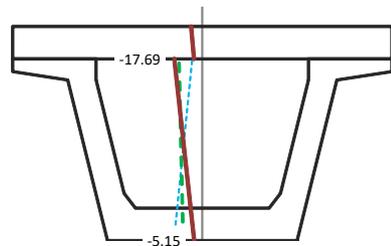
**GETTO DELLA SOLETTA**

$N_1$	0.0 KN	
$M_1$	2117.5 KNm	
$A_{id}$	0.9018 mq	
$S_{id}$	0.5162 mc	
$Y_{bar}$	57.24 cm	
$J_{id}$	0.2085 m <sup>4</sup>	
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-12.10 Mpa	→
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-14.79 Mpa	→



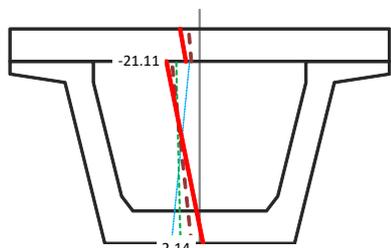
**CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE**

$N_2$	-1415.5 KN	$\Delta P$	1772.6	KN
$M_2$	2560.5 KNm	$\Delta Mp$	1232.3	KNm
$A_{id}$	1.5038 mq			
$S_{id}$	1.4342 mc			
$Y_{bar}$	95.37 cm			
$J_{id}$	0.5391 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	-5.15 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-17.69 Mpa	→		
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-5.26 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-7.02 Mpa			



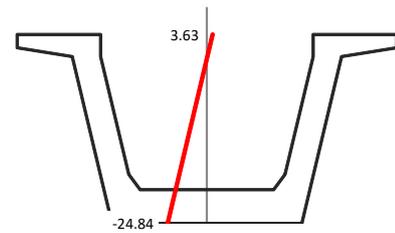
**CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE**

$N_3$	0.0 KN	$\Delta P$	1772.6	KN
$M_3$	4123.3 KNm	$\Delta Mp$	1232.3	KNm
$A_{id}$	1.5038 mq			
$S_{id}$	1.4342 mc			
$Y_{bar}$	95.37 cm			
$J_{id}$	0.5391 m <sup>4</sup>			
Tensione al lembo inferiore trave $\sigma_{inf}$	2.14 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave $\sigma_{sup}$	-21.11 Mpa	→		
Tensione al lembo inferiore soletta $\sigma_{is}$	-8.67 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta $\sigma_{ss}$	-12.34 Mpa			



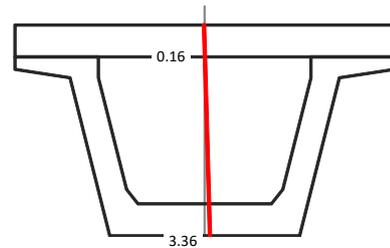
**PERDITE ELASTICHE**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN)= 1243.5
gruppo 1	1240.0	-->	-150.0	$\Delta M$ (KNm)= 580.5
gruppo 2	1240.0	-->	-142.2	$\sigma_{inf}$ = -24.84
gruppo 3	1240.0	-->	-134.3	$\sigma_{sup}$ = 3.63
gruppo 4	1240.0	-->	18.0	



**PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO**

	$\sigma_{p0}$		$\Delta\sigma_{p0}$	$\Delta N$ (KN)= 1772.6
gruppo 1	1090.0	-->	-173.6	$\Delta M$ (KNm)= 1232.3
gruppo 2	1097.8	-->	-177.5	$\sigma_{inf}$ = 3.36
gruppo 3	1105.7	-->	-182.2	$\sigma_{sup}$ = 0.16
gruppo 4	1258.0	-->	-265.0	$\sigma_{ig}$ = 0.16
				$\sigma_{ss}$ = -0.41



**TENSIONI ARMATURA LENTA**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-97.0	-99.4
GETTO DELLA SOLETTA	-69.2	-69.8
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-19.0	-34.3
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	7.4	-51.7

**TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE**

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1258.0	1090.0
GETTO DELLA SOLETTA	1213.7	1119.5
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1198.0	934.7
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1181.2	917.9

**VERIFICA A TAGLIO - SLU**

$V_{Ed}$ =	488.6 KN	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO	
$f_{ck}$ =	45.00 Mpa	$v_{min}$ =	0.375 Mpa
$f_{cd}$ =	25.50 Mpa	$\sigma_{cp}$ =	13.200 Mpa
$f'_{cd}$ =	12.75 Mpa	$k$ =	1.367
$f_{ctd}$ =	1.77 Mpa	$A_{sl}$ =	112.0 cm <sup>2</sup>
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d$ =	0.020
$d$ =	148.5 cm	$\gamma_c$ =	1.5
$b_w$ =	35.9 cm	$V_{Rd}$ =	1448.4 KN

La sezione non necessita di armatura resistente a taglio

**VERIFICA A TORSIONE - SLU**

$M_{tEd}$ =	430.3 KNm	Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
$f_{yd}$ =	391.30 Mpa	$f'_{cd}$ =	12.75 Mpa	$u_m$ =	5570.6 mm
$\theta$	45 °	$t$ =	176 mm	$A_{minima}$	16.13 cm <sup>2</sup>
$\Omega$	1899129 mm <sup>2</sup>	$\Omega$	1899129 mm <sup>2</sup>		
$A_{sw}/s = A_{nec.}$	2.90 cm <sup>2</sup> /m	$T_{Rcd}$ =	4261.6 KNm		
$T_{Rsd}$ =	430.3 KNm				

**VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO**

$V_{Ed}/V_{Rcd} + M_{tEd}/T_{Rcd} = 0.233$  La verifica è soddisfatta

### 9.12 Verifica a rottura della sezione di mezzeria

Le azioni flettenti per la verifica a rottura della sezione di mezzeria valgono:

PESO PROPRIO	2523 KNm	x	1.35	=	3406.6
GETTO DELLA SOLETTA	2118 KNm	x	1.35	=	2858.6
CARICHI PERMANENTI	1722 KNm	x	1.5	=	2582.5
CARICHI ACCIDENTALI	4123 KNm	x	1.5	=	6184.9

**Momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$**

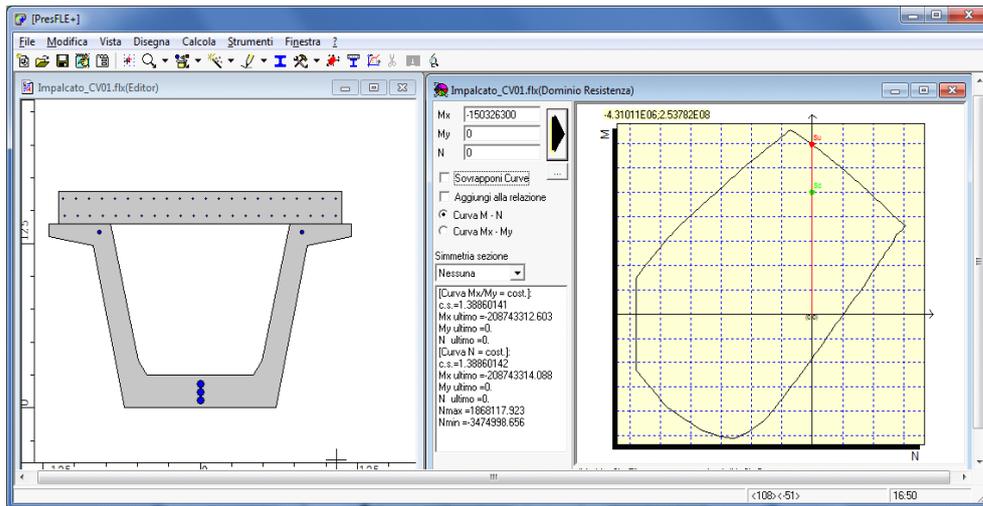
**15032.63 KNm**

Il valore della precompressione in mezzeria a meno delle perdite istantanee e differite e del coefficiente di combinazione allo SLU vale, in termini deformazioni:

CAVI DI PRECOMPRESSONE				
	y(cm)	$\phi_{eq}$ (mm)	$\epsilon$	$\epsilon_{SLU}$
gruppo 1	6.0	60.24	0.00477182	<b>0.00429463</b>
gruppo 2	12.0	61.80	0.00476247	<b>0.00428622</b>
gruppo 3	18.0	61.80	0.00474925	<b>0.00427432</b>
gruppo 4	134.0	30.90	0.00453735	<b>0.00408361</b>

Armatura lenta			
	y(cm)	n.	$\phi_{eq}$ (mm)
Arm1	5.0	12	16
Arm2	10.0	10	16

Arm11	146.0	22	14
Arm12	159.0	22	14



Il momento resistente vale: **20874.33 KNm** c.s.= **1.3886** La verifica è soddisfatta

9.13 Verifiche a taglio – SLU

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

per elementi privi di armature resistenti a taglio

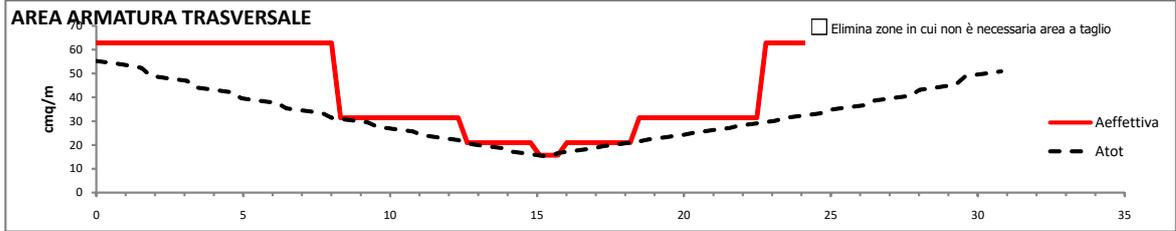
$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

per elementi con armature resistenti a taglio

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

A<sub>sw</sub>/s (cm<sup>2</sup>/m)

$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$					$\theta$	45	°	
$f_{ctd}$	1.77	Mpa	$f_{yd}$	391.30	Mpa	$d_{fase1}$	1260	mm
$f_{ck}$	45.00	Mpa	$\gamma_c$	1.5		$v_{\min fase2}$	0.375	Mpa
$f'_{cd}$	12.75	Mpa	$v_{\min fase1}$	0.388	Mpa	$k_{fase2}$	1.367	
$f_{cd}$	25.50	Mpa	$k_{fase1}$	1.398		$d_{fase2}$	1485	mm



x(m)	Fase 1 - Sola trave in c.a.p.				Fase 2 - Trave + soletta				TOTALE	Staffe
	V <sub>r,d</sub> (KN)	V <sub>Ed</sub> (KN)	V <sub>Rcd</sub> (KN)	A <sub>swcalc</sub> /s	V <sub>r,d</sub> (KN)	V <sub>Ed</sub> (KN)	V <sub>Rcd</sub> (KN)	A <sub>swcalc</sub> /s	A <sub>swcalc</sub> /s	
0.00	361.9	813.7	4072.5	18.34	537.9	1542.4	4799.7	29.49	47.83	4 br. f10/5
0.31	361.9	797.4	4072.5	17.97	537.9	1535.2	4799.7	29.36	47.33	4 br. f10/5
0.62	361.9	781.1	4072.5	17.60	537.9	1528.1	4799.7	29.22	46.82	4 br. f10/5
0.92	766.7	764.8	4679.8	17.24	1015.0	1521.0	5515.5	29.08	46.32	4 br. f10/5
1.23	734.9	748.6	4320.6	16.87	971.3	1513.9	5092.2	28.95	45.82	4 br. f10/5
1.54	690.5	732.3	3841.9	16.50	910.1	1506.8	4528.0	28.81	45.31	4 br. f10/5
1.85	642.6	716.0	3360.1	16.14	844.6	1348.0	3960.2	25.77	41.91	4 br. f10/5
2.16	617.4	699.7	3120.9	15.77	803.8	1340.8	3678.2	25.64	41.41	4 br. f10/5
2.46	617.4	683.5	3120.9	15.40	803.8	1333.7	3678.2	25.50	40.90	4 br. f10/5
2.77	617.4	667.2	3120.9	15.04	803.8	1326.6	3678.2	25.37	40.40	4 br. f10/5
3.08	617.4	650.9	3120.9	14.67	803.8	1319.5	3678.2	25.23	39.90	4 br. f10/5
3.39	617.4	634.7	3120.9	14.30	803.8	1190.3	3678.2	22.76	37.06	4 br. f10/5
3.70	896.1	618.4	3246.2	13.94	1132.3	1183.2	3825.9	22.62	36.56	4 br. f10/5
4.00	896.1	602.1	3246.2	13.57	1132.3	1176.1	3825.9	22.49	36.06	4 br. f10/5
4.31	896.1	585.8	3246.2	13.20	1132.3	1168.9	3825.9	22.35	35.55	4 br. f10/5
4.62	896.1	569.6	3246.2	12.84	1132.3	1161.8	3825.9	22.22	35.05	4 br. f10/5
4.93	896.1	553.3	3246.2	12.47	1132.3	1057.6	3825.9	20.22	32.69	4 br. f10/5
5.24	896.1	537.0	3246.2	12.10	1132.3	1050.4	3825.9	20.09	32.19	4 br. f10/5
5.54	896.1	520.7	3246.2	11.74	1132.3	1043.3	3825.9	19.95	31.68	4 br. f10/5
5.85	896.1	504.5	3246.2	11.37	1132.3	1036.2	3825.9	19.81	31.18	4 br. f10/5
6.16	1164.3	488.2	3131.7	11.00	1448.4	1029.1	3690.9	19.68	30.68	4 br. f10/5
6.47	1164.3	471.9	3131.7	10.64	1448.4	943.6	3690.9	18.04	28.68	4 br. f10/5
6.78	1164.3	455.7	3131.7	10.27	1448.4	936.5	3690.9	17.91	28.17	4 br. f10/5
7.08	1164.3	439.4	3131.7	9.90	1448.4	929.3	3690.9	17.77	27.67	4 br. f10/5
7.39	1164.3	423.1	3131.7	9.53	1448.4	922.2	3690.9	17.63	27.17	4 br. f10/5
7.70	1164.3	406.8	3131.7	9.17	1448.4	915.1	3690.9	17.50	26.67	4 br. f10/5
8.01	1164.3	390.6	3131.7	8.80	1448.4	843.0	3690.9	16.12	24.92	4 br. f10/5
8.32	1164.3	374.3	3131.7	8.43	1448.4	835.8	3690.9	15.98	24.42	4 br. f10/10
8.62	1164.3	358.0	3131.7	8.07	1448.4	828.7	3690.9	15.85	23.91	4 br. f10/10
8.93	1164.3	341.7	3131.7	7.70	1448.4	821.6	3690.9	15.71	23.41	4 br. f10/10
9.24	1164.3	325.5	3131.7	7.33	1448.4	814.5	3690.9	15.57	22.91	4 br. f10/10
9.55	1164.3	309.2	3131.7	6.97	1448.4	751.7	3690.9	14.37	21.34	4 br. f10/10
9.86	1164.3	292.9	3131.7	6.60	1448.4	744.6	3690.9	14.24	20.84	4 br. f10/10
10.16	1164.3	276.6	3131.7	6.23	1448.4	737.5	3690.9	14.10	20.34	4 br. f10/10
10.47	1164.3	260.4	3131.7	5.87	1448.4	730.4	3690.9	13.97	19.83	4 br. f10/10
10.78	1164.3	244.1	3131.7	5.50	1448.4	723.2	3690.9	13.83	19.33	4 br. f10/10
11.09	1164.3	227.8	3131.7	5.13	1448.4	667.8	3690.9	12.77	17.90	4 br. f10/10
11.40	1164.3	211.6	3131.7	4.77	1448.4	660.7	3690.9	12.63	17.40	4 br. f10/10
11.70	1164.3	195.3	3131.7	4.40	1448.4	653.5	3690.9	12.50	16.90	4 br. f10/10
12.01	1164.3	179.0	3131.7	4.03	1448.4	646.4	3690.9	12.36	16.39	4 br. f10/10
12.32	1164.3	162.7	3131.7	3.67	1448.4	639.3	3690.9	12.22	15.89	4 br. f10/10
12.63	1164.3	146.5	3131.7	3.30	1448.4	589.6	3690.9	11.27	14.58	4 br. f10/15
12.94	1164.3	130.2	3131.7	2.93	1448.4	582.5	3690.9	11.14	14.07	4 br. f10/15
13.24	1164.3	113.9	3131.7	2.57	1448.4	575.4	3690.9	11.00	13.57	4 br. f10/15
13.55	1164.3	97.6	3131.7	2.20	1448.4	568.3	3690.9	10.87	13.07	4 br. f10/15
13.86	1164.3	81.4	3131.7	1.83	1448.4	561.1	3690.9	10.73	12.56	4 br. f10/15
14.17	1164.3	65.1	3131.7	1.47	1448.4	517.1	3690.9	9.89	11.35	4 br. f10/15
14.48	1164.3	48.8	3131.7	1.10	1448.4	510.0	3690.9	9.75	10.85	4 br. f10/15
14.78	1164.3	32.5	3131.7	0.73	1448.4	502.8	3690.9	9.61	10.35	4 br. f10/15
15.09	1164.3	16.3	3131.7	0.37	1448.4	495.7	3690.9	9.48	9.85	4 br. f10/20
15.40	1164.3	0.0	3131.7	0.00	1448.4	488.6	3690.9	9.34	9.34	4 br. f10/20

## 9.14 Verifiche a torsione – SLU

$$\theta = 45 \text{ } ^\circ \quad A_{sw/s} \text{ (cm}^2\text{/m)} \quad T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_i}{u_m} \cdot f_{yd} / \text{ctg}\theta \quad T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot \text{ctg}\theta \quad T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \text{ctg}\theta / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

$$f'_{cd} = 12.75 \text{ Mpa}$$

x(m)	TORSIONE								
	Mt <sub>Ed</sub> (KNm)	A=Ω (mmq)	t (mm)	T <sub>Rcd</sub> (KNm)	A <sub>sw/s</sub>   V <sub>Ed</sub> /N <sub>Rcd</sub> +Mt <sub>Ed</sub> /T <sub>Rcd</sub>	Staffe	u <sub>m</sub> (mm)	Arm. Long. (cm <sup>2</sup> )	
0.00	498.8	1707281	276.0	6007.9	3.73	0.574	4 br. f10/5	5284.8	19.7
0.31	498.8	1707281	276.0	6007.9	3.73	0.569	4 br. f10/5	5284.8	19.7
0.62	498.8	1707281	276.0	6007.9	3.73	0.564	4 br. f10/5	5284.8	19.7
0.92	498.8	1707281	276.0	6007.9	3.73	0.497	4 br. f10/5	5284.8	19.7
1.23	498.8	1750972	252.8	5643.7	3.64	0.533	4 br. f10/5	5351.1	19.5
1.54	498.8	1809738	222.0	5122.5	3.52	0.592	4 br. f10/5	5439.1	19.2
1.85	526.4	1869376	191.2	4557.2	3.60	0.637	4 br. f10/5	5527.1	19.9
2.16	526.4	1899129	176.0	4261.6	3.54	0.678	4 br. f10/5	5570.6	19.7
2.46	526.4	1899129	176.0	4261.6	3.54	0.672	4 br. f10/5	5570.6	19.7
2.77	526.4	1899129	176.0	4261.6	3.54	0.666	4 br. f10/5	5570.6	19.7
3.08	526.4	1899129	176.0	4261.6	3.54	0.659	4 br. f10/5	5570.6	19.7
3.39	527.8	1899129	176.0	4261.6	3.55	0.620	4 br. f10/5	5570.6	19.8
3.70	527.8	1899129	176.0	4261.6	3.55	0.595	4 br. f10/5	5570.6	19.8
4.00	527.8	1899129	176.0	4261.6	3.55	0.589	4 br. f10/5	5570.6	19.8
4.31	527.8	1899129	176.0	4261.6	3.55	0.583	4 br. f10/5	5570.6	19.8
4.62	527.8	1899129	176.0	4261.6	3.55	0.576	4 br. f10/5	5570.6	19.8
4.93	515.0	1899129	176.0	4261.6	3.47	0.542	4 br. f10/5	5570.6	19.3
5.24	515.0	1899129	176.0	4261.6	3.47	0.536	4 br. f10/5	5570.6	19.3
5.54	515.0	1899129	176.0	4261.6	3.47	0.530	4 br. f10/5	5570.6	19.3
5.85	515.0	1899129	176.0	4261.6	3.47	0.524	4 br. f10/5	5570.6	19.3
6.16	515.0	1899129	176.0	4261.6	3.47	0.532	4 br. f10/5	5570.6	19.3
6.47	500.1	1899129	176.0	4261.6	3.36	0.501	4 br. f10/5	5570.6	18.7
6.78	500.1	1899129	176.0	4261.6	3.36	0.495	4 br. f10/5	5570.6	18.7
7.08	500.1	1899129	176.0	4261.6	3.36	0.488	4 br. f10/5	5570.6	18.7
7.39	500.1	1899129	176.0	4261.6	3.36	0.482	4 br. f10/5	5570.6	18.7
7.70	500.1	1899129	176.0	4261.6	3.36	0.475	4 br. f10/5	5570.6	18.7
8.01	486.0	1899129	176.0	4261.6	3.27	0.448	4 br. f10/5	5570.6	18.2
8.32	486.0	1899129	176.0	4261.6	3.27	0.442	4 br. f10/10	5570.6	18.2
8.62	486.0	1899129	176.0	4261.6	3.27	0.436	4 br. f10/10	5570.6	18.2
8.93	486.0	1899129	176.0	4261.6	3.27	0.429	4 br. f10/10	5570.6	18.2
9.24	486.0	1899129	176.0	4261.6	3.27	0.423	4 br. f10/10	5570.6	18.2
9.55	471.2	1899129	176.0	4261.6	3.17	0.398	4 br. f10/10	5570.6	17.7
9.86	471.2	1899129	176.0	4261.6	3.17	0.392	4 br. f10/10	5570.6	17.7
10.16	471.2	1899129	176.0	4261.6	3.17	0.385	4 br. f10/10	5570.6	17.7
10.47	471.2	1899129	176.0	4261.6	3.17	0.379	4 br. f10/10	5570.6	17.7
10.78	471.2	1899129	176.0	4261.6	3.17	0.373	4 br. f10/10	5570.6	17.7
11.09	457.9	1899129	176.0	4261.6	3.08	0.350	4 br. f10/10	5570.6	17.2
11.40	457.9	1899129	176.0	4261.6	3.08	0.344	4 br. f10/10	5570.6	17.2
11.70	457.9	1899129	176.0	4261.6	3.08	0.337	4 br. f10/10	5570.6	17.2
12.01	457.9	1899129	176.0	4261.6	3.08	0.331	4 br. f10/10	5570.6	17.2
12.32	457.9	1899129	176.0	4261.6	3.08	0.325	4 br. f10/10	5570.6	17.2
12.63	446.8	1899129	176.0	4261.6	3.01	0.304	4 br. f10/15	5570.6	16.7
12.94	446.8	1899129	176.0	4261.6	3.01	0.298	4 br. f10/15	5570.6	16.7
13.24	446.8	1899129	176.0	4261.6	3.01	0.292	4 br. f10/15	5570.6	16.7
13.55	446.8	1899129	176.0	4261.6	3.01	0.285	4 br. f10/15	5570.6	16.7
13.86	446.8	1899129	176.0	4261.6	3.01	0.279	4 br. f10/15	5570.6	16.7
14.17	430.3	1899129	176.0	4261.6	2.90	0.259	4 br. f10/15	5570.6	16.1
14.48	430.3	1899129	176.0	4261.6	2.90	0.252	4 br. f10/15	5570.6	16.1
14.78	430.3	1899129	176.0	4261.6	2.90	0.246	4 br. f10/15	5570.6	16.1
15.09	430.3	1899129	176.0	4261.6	2.90	0.240	4 br. f10/20	5570.6	16.1
15.40	430.3	1899129	176.0	4261.6	2.90	0.233	4 br. f10/20	5570.6	16.1

### 9.15 Verifiche connettori trave-soletta

Per il calcolo dei connettori si valuta con la formula di Jourawsky lo scorrimento presente all'interfaccia trave-soletta indotto dal taglio dovuto ai carichi permanenti e ai carichi accidentali e alla torsione dovuta ai carichi accidentali:

$$\text{Scorrimento} = T S / J$$

$$S = \text{Momento statico della soletta rispetto al baricentro}$$

$$J = \text{Momento d'inerzia della sezione}$$

$Y_g$  = posizione baricentro da intradosso

x(m)	T <sub>perm</sub> (KN)	T <sub>acc</sub> (KN)	T <sub>torsione</sub> (KN)	T (KN)	S (cm <sup>3</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )	TS/J (KN/m)	A <sub>swcalc</sub> /s cm <sup>2</sup> /m	Connettori suggeriti
0.00	-250.6	-777.6	482.1	-546.2	280577	56427310	271.6	12.0	4 br. f10/20
0.31	-245.9	-777.6	482.1	-541.4	280577	56427310	269.2	11.9	4 br. f10/20
0.62	-241.1	-777.6	482.1	-536.7	280577	56427310	266.8	11.8	4 br. f10/20
0.92	-236.4	-777.6	482.1	-531.9	284760	57720887	262.4	11.6	4 br. f10/20
1.23	-231.6	-777.6	470.0	-539.2	280007	56572496	266.9	11.8	4 br. f10/20
1.54	-226.9	-777.6	454.8	-549.7	272219	54831096	272.9	12.1	4 br. f10/20
1.85	-219.3	-679.4	464.7	-434.0	262364	52793713	215.7	9.5	4 br. f10/30
2.16	-214.5	-679.4	457.4	-436.5	256578	51659231	216.8	9.6	4 br. f10/30
2.46	-209.8	-679.4	457.4	-431.8	256578	51659231	214.4	9.5	4 br. f10/30
2.77	-205.0	-679.4	457.4	-427.0	256578	51659231	212.1	9.4	4 br. f10/30
3.08	-200.3	-679.4	457.4	-422.3	256578	51659231	209.7	9.3	4 br. f10/30
3.39	-192.0	-601.6	458.6	-334.9	256578	51659231	166.4	7.4	4 br. f10/30
3.70	-187.2	-601.6	458.6	-330.2	262437	52882557	163.9	7.3	4 br. f10/30
4.00	-182.5	-601.6	458.6	-325.4	262437	52882557	161.5	7.1	4 br. f10/30
4.31	-177.7	-601.6	458.6	-320.7	262437	52882557	159.1	7.0	4 br. f10/30
4.62	-173.0	-601.6	458.6	-315.9	262437	52882557	156.8	6.9	4 br. f10/30
4.93	-164.4	-540.6	447.5	-257.6	262437	52882557	127.8	5.7	4 br. f10/30
5.24	-159.7	-540.6	447.5	-252.8	262437	52882557	125.5	5.6	4 br. f10/30
5.54	-154.9	-540.6	447.5	-248.1	262437	52882557	123.1	5.4	4 br. f10/30
5.85	-150.2	-540.6	447.5	-243.3	262437	52882557	120.7	5.3	4 br. f10/30
6.16	-145.4	-540.6	447.5	-238.6	267756	53913963	118.5	5.2	4 br. f10/30
6.47	-137.1	-492.0	434.5	-194.6	267756	53913963	96.6	4.3	4 br. f10/30
6.78	-132.4	-492.0	434.5	-189.9	267756	53913963	94.3	4.2	4 br. f10/30
7.08	-127.6	-492.0	434.5	-185.1	267756	53913963	91.9	4.1	4 br. f10/30
7.39	-122.9	-492.0	434.5	-180.4	267756	53913963	89.6	4.0	4 br. f10/30
7.70	-118.1	-492.0	434.5	-175.6	267756	53913963	87.2	3.9	4 br. f10/30
8.01	-110.2	-451.8	422.2	-139.7	267756	53913963	69.4	3.1	4 br. f10/30
8.32	-105.4	-451.8	422.2	-135.0	267756	53913963	67.0	3.0	4 br. f10/30
8.62	-100.7	-451.8	422.2	-130.2	267756	53913963	64.7	2.9	4 br. f10/30
8.93	-95.9	-451.8	422.2	-125.5	267756	53913963	62.3	2.8	4 br. f10/30
9.24	-91.2	-451.8	422.2	-120.7	267756	53913963	60.0	2.7	4 br. f10/30
9.55	-83.8	-417.4	409.4	-91.8	267756	53913963	45.6	2.0	4 br. f10/30
9.86	-79.0	-417.4	409.4	-87.0	267756	53913963	43.2	1.9	4 br. f10/30
10.16	-74.3	-417.4	409.4	-82.3	267756	53913963	40.9	1.8	4 br. f10/30
10.47	-69.5	-417.4	409.4	-77.5	267756	53913963	38.5	1.7	4 br. f10/30
10.78	-64.8	-417.4	409.4	-72.8	267756	53913963	36.1	1.6	4 br. f10/30
11.09	-58.1	-387.1	397.8	-47.4	267756	53913963	23.5	1.0	4 br. f10/30
11.40	-53.3	-387.1	397.8	-42.6	267756	53913963	21.2	0.9	4 br. f10/30
11.70	-48.6	-387.1	397.8	-37.9	267756	53913963	18.8	0.8	4 br. f10/30
12.01	-43.8	-387.1	397.8	-33.1	267756	53913963	16.4	0.7	4 br. f10/30
12.32	-39.1	-387.1	397.8	-28.4	267756	53913963	14.1	0.6	4 br. f10/30
12.63	-33.1	-360.0	388.2	-4.9	267756	53913963	2.4	0.1	4 br. f10/30
12.94	-28.4	-360.0	388.2	-0.1	267756	53913963	0.1	0.0	4 br. f10/30
13.24	-23.6	-360.0	388.2	4.6	267756	53913963	2.3	0.1	4 br. f10/30
13.55	-18.9	-360.0	388.2	9.4	267756	53913963	4.7	0.2	4 br. f10/30
13.86	-14.1	-360.0	388.2	14.1	267756	53913963	7.0	0.3	4 br. f10/30
14.17	-8.9	-335.8	373.9	29.1	267756	53913963	14.5	0.6	4 br. f10/30
14.48	-4.2	-335.8	373.9	33.9	267756	53913963	16.8	0.7	4 br. f10/30
14.78	0.6	-335.8	373.9	38.6	267756	53913963	19.2	0.8	4 br. f10/30
15.09	5.3	-335.8	373.9	43.4	267756	53913963	21.5	1.0	4 br. f10/30
15.40	10.1	-335.8	373.9	48.1	267756	53913963	23.9	1.1	4 br. f10/30

### 9.16 Verifica all'urto dei veicoli in svio

#### Criteria generali e oggetto delle verifiche

L'azione eccezionale dovuta all'urto di veicoli in svio sulle barriere di sicurezza stradali verrà tenuta in considerazione operando le verifiche di resistenza degli eventuali sbalzi della soletta in c.a. (sezione S1 della seguente immagine) e della sezione di attacco del cordolo alla soletta (Sezione S2).

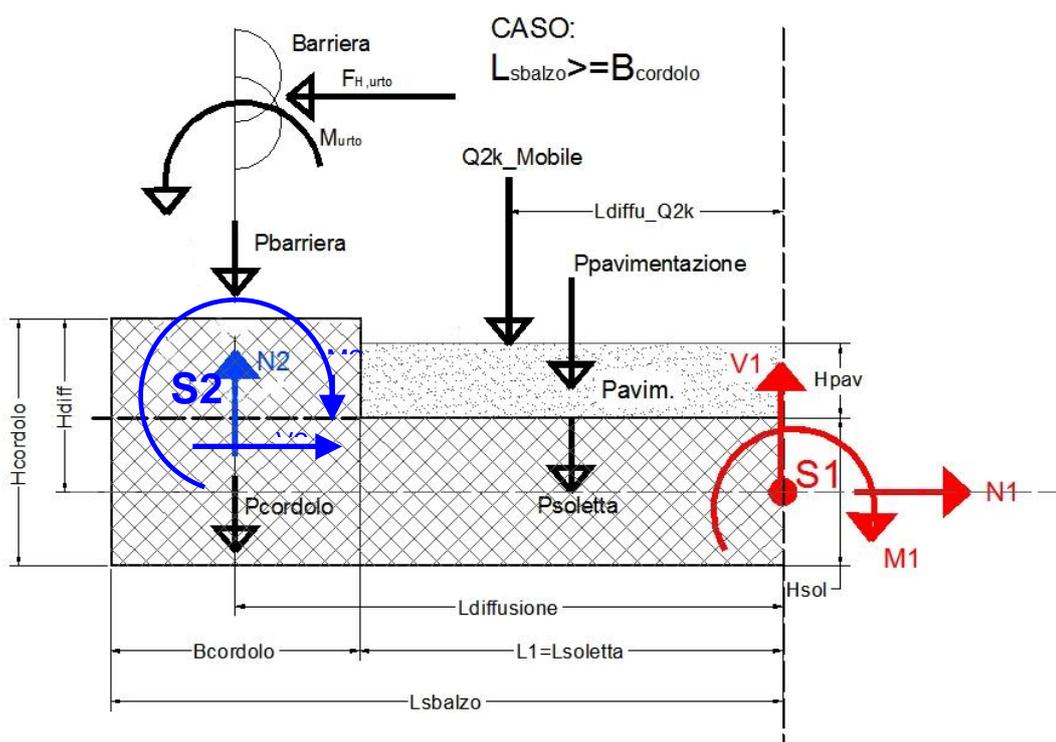


Figura 9-1 – Sezioni di verifica all'azione eccezionale dovuta all'urto del veicolo in svio

Si intendono escluse le verifiche riguardanti i cinematismi locali di rottura inerenti il collegamento della barriera di sicurezza al cordolo di coronamento sotto le azioni indotte dall'urto veicolare; più genericamente, si intende esclusa la verifica del funzionamento cinematico dell'intera barriera.

#### **9.17 Verifica dello sbalzo della soletta (Sezione S<sub>1</sub>)**

Nel cavacavia in oggetto della presente relazione di calcolo la soletta non presenta sbalzo rispetto la trave dell'impalcato. Le verifiche della soletta non risultano necessarie.

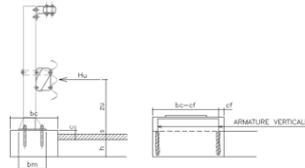
#### **9.18 Verifiche del cordolo (Sezione S<sub>2</sub>)**

In questa fase si valuta l'adeguatezza delle armature di collegamento cordolo-soletta nei confronti dell'azione di strappo prodotta dell'urto del veicolo in svio.

Nelle seguenti verifiche si prenderanno in conto le armature di progetto dimensionate sulla base della geometria e delle caratteristiche meccaniche dei tirafondi della barriera. In particolare si considera un'armatura costituita da 4 bracci verticali Ø12/12.5cm; 2 bracci orizzontali Ø12/12.5cm; 10 barre longitudinali Ø12mm.

Qui di seguito si riportano le verifiche effettuate sui cordoli relativi ad un solo lato della carreggiata in quanto risultano avere una geometria simile o uguale.

AZIONI E VERIFICHE ARMATURE CORDOLO - NTC 2018



Tensione di snervamento armature verticali esistenti (N/mm<sup>2</sup>) fyp\_ 450  
 Coefficiente di fattorizzazione delle sollecitazioni d'urto cs\_ 1.0  
 Coefficiente di sicurezza  $\gamma_m$  gm\_ 1.15  
 Coefficiente di sicurezza  $\gamma_c$  gc\_ 1.00

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Spessore della pavimentazione (m) p\_ 0.10 Altezza forza d'urto (m) zu\_ 1.00  
 Spessore del cordolo (m) c\_ 0.17  
 Larghezza del cordolo (m) bc\_ 0.75 Dim. long. piastra paletto (m) lm\_ 0.40  
 Forza orizzontale prodotta dall'urto (KN) Hu\_ 100 Larghezza di influenza urto (m) bs\_ 0.74

Armature verticali nel cordolo resistenti a trazione (mmq/ml): As\_ 1809.6

$\phi$ (mm)	int (cm)		$\phi$ (mm)	int (cm)		$\phi$ (mm)	int (cm)
12	12.5	+	12	12.5	+		

Armature verticali nel cordolo resistenti a trazione (mmq/ml): Asp\_ 1809.6

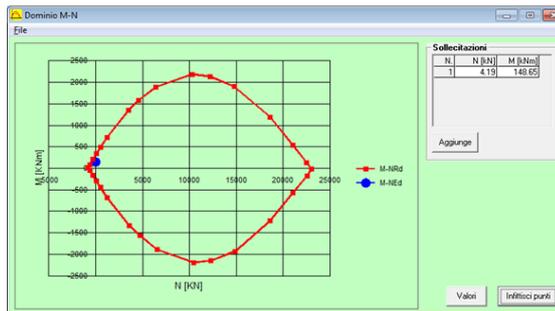
$\phi$ (mm)	int (cm)		$\phi$ (mm)	int (cm)		$\phi$ (mm)	int (cm)
12	12.5	+	12	12.5	+		

Armature resistenti a taglio (mmq/ml): At\_ 3619.1

Armature esistenti acciaio  $f_{yd}$ = 450.00 Mpa  
 8 f12 + 8 f12  
 Armature di progetto acciaio  $f_{yd}$ = 450.00 Mpa  
 8 f12 + 8 f12

SOLLECITAZIONI E VERIFICHE ARMATURE CORDOLO B=1.0m

Momento flettente (KNm/ml) Md\_ 148.65  
 Sforzo normale (KN/ml) Nd\_ 4.19  
 Azione di taglio (KN/ml) Vd\_ 135.14



Mrd = 314.3 kNm Msd/Mrd = 0.47 < 1

VERIFICA A TAGLIO (Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio)

$k = 1 + (200/d)^{1/2}$  k\_ 1.54  
 $\rho_1 = A_s / bw \times d =$  rapporto d'armatura comunque minore di 0.02 rr1\_ 0.0143  
 $V_{min} (N/mmq) = 0.035 k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}$  vmin\_ 0.41  
 $V_{sdu\_min} (KN) = V_{min} \times b \times d$  Vsdu\_min 277.09  
 $V_{rd} = [0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3}] \times (b \times d) / \gamma_c \geq V_{sdu\_min}$  Vrd 706.59  
Vsd/Vrd = 0.19 < 1

VERIFICA A TAGLIO E TRAZIONE (armature integrative di progetto)

Resistenza di calcolo a trazione (N/mm<sup>2</sup>) =  $(f_{yp} \times k / gm)$   $f_{yd}$ = 450.0  
 Tensione tangenziale (N / mmq)  $\tau = 37.3$   
 Tensione normale (N / mmq)  $\sigma = 292.6$   
 $\sigma_{td} = \text{radq} (\sigma^2 + 3\tau^2)$  299.66 < 450.0

VERIFICA SODDISFATTA

### 9.19 Verifiche a deformazione

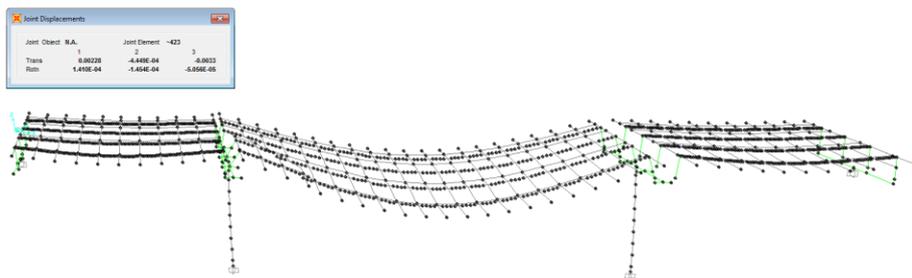
Si riporta di seguito il grafico relativo ai valori di deformazione verticale massima e minima dell'impalcato considerando agenti i soli carichi variabili da traffico e la variazione termica differenziale.

La deformazione verticale massima ammissibile per ciascuna campata è pari ad  $1/500$  della grandezza  $L_0$  che si intende pari alla luce della campata, per le travate appoggiate e per le campate esterne di travate continue, mentre si assume pari a  $0.7$  della luce per le campate interne di travate continue.

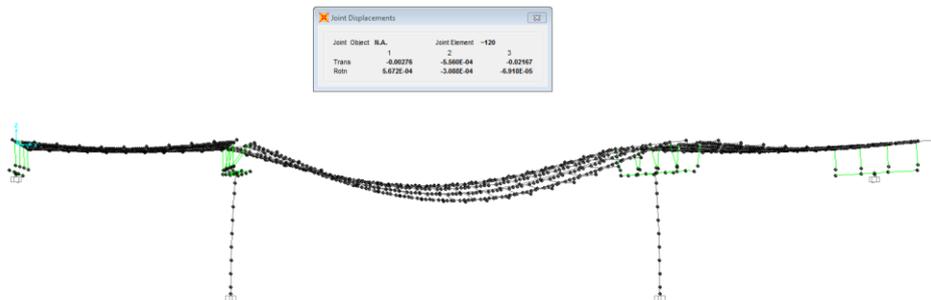
Le verifiche di deformazione si intendono pertanto soddisfatte, risultando verificata la seguente disuguaglianza:

$$\delta_{\text{vert,max}} < L_0 / 500$$

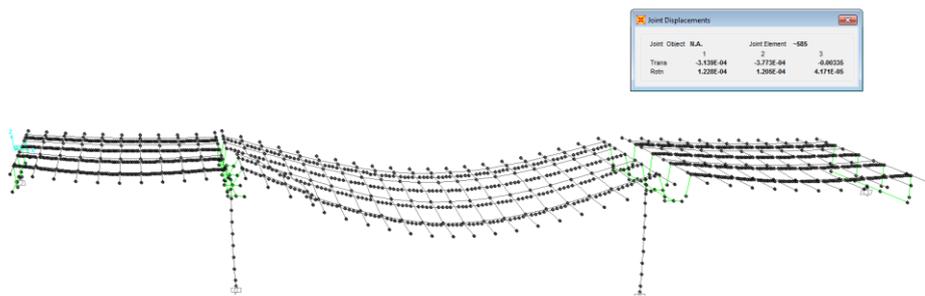
Campata 1  $\delta_{\text{vert,max}} = 3.3 < 16000/500 = 32\text{mm}$



Campata 2  $\delta_{\text{vert,max}} = 21.4 < 32000/500 = 64\text{mm}$

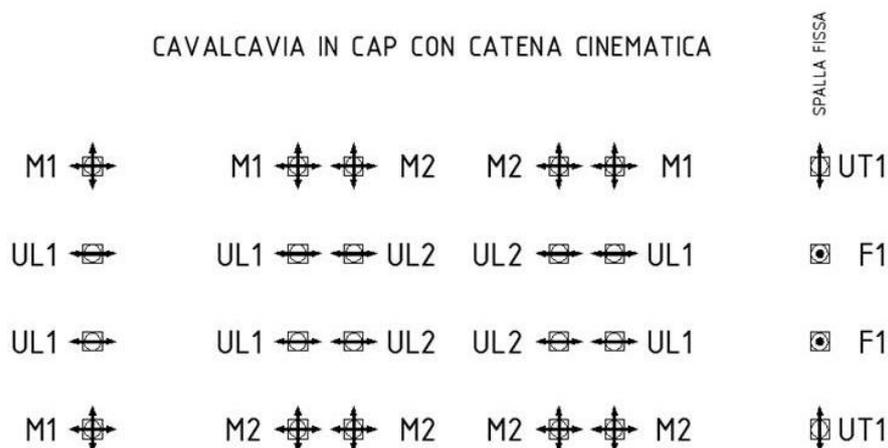


Campata 3  $\delta_{\text{vert,max}} = 3.4 < 16000/500 = 32\text{mm}$



### 9.20 Azioni sugli apparecchi di appoggio

Lo schema di disposizione degli apparecchi di appoggio del viadotto segue lo schema mostrato nella seguente figura, in cui la spalla fissa è la spalla SB.



Ove:

- F sono gli apparecchi di appoggio di tipo Fisso;
- UL1; UL2 sono gli apparecchi di appoggio di tipo Unidirezionale Longitudinale;
- UT1; UT2 sono gli apparecchi di appoggio di tipo Unidirezionale Trasversale;
- M1; M2 sono gli apparecchi di appoggio di tipo Mobile.

Si riportano di seguito le massime azioni agenti sugli apparecchi di appoggio, nelle combinazioni statiche (S.L.U.) e sismiche (S.L.V.).

AZIONI SUGLI APPARECCHI D'APPOGGIO								
Id	Tipo	Q.tà	STATICA			SISMICA		
			N <sub>sd</sub>	H <sub>sd, LONG</sub>	H <sub>sd, TRASV</sub>	N <sub>sd</sub>	H <sub>sd, LONG</sub>	H <sub>sd, TRASV</sub>
[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
F	Fisso	2	1700	350	200	1000	800	500
UL1	Unidir long	6	1850	0	200	1200	0	450
UL2	Unidir long	4	2650	0	150	1600	0	500
UT1	Unidir trasv	2	1450	400	0	600	1000	0
M1	Multidir	6	1600	0	0	750	0	0
M2	Multidir	4	2650	0	0	1250	0	0

## 10. VERIFICHE PILA 1

### 10.1 Verifica Elevazione

Si riportano di seguito le verifiche relative alla pila 1; le verifiche sono state condotte sul fusto della pila, nella sezione di attacco alla fondazione.

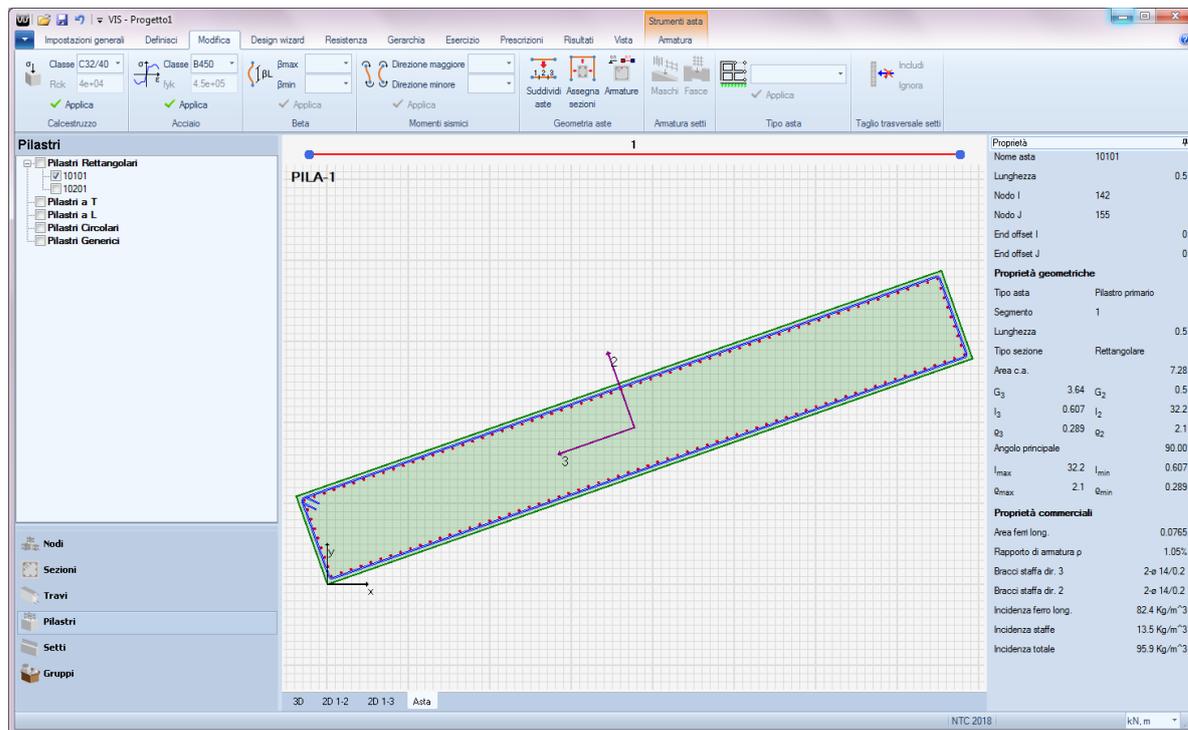


Figura 10-1 – Pila 1: sezione di verifica 7.285 x 1.00 –  $\phi$ 26/10

#### 10.1.1 Verifica SLU-SLV

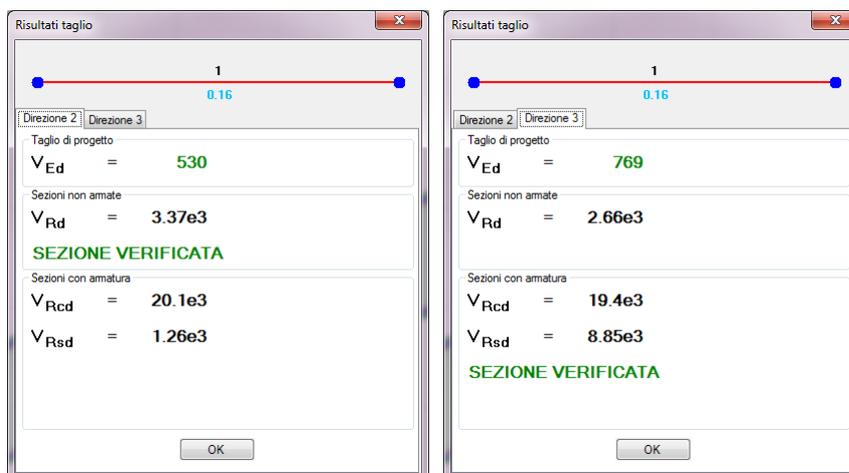


Figura 10-2 – Pila 1: Dettaglio verifiche a taglio ( $V_2$  e  $V_3$ ) (unità di misura: kN; m; °C)

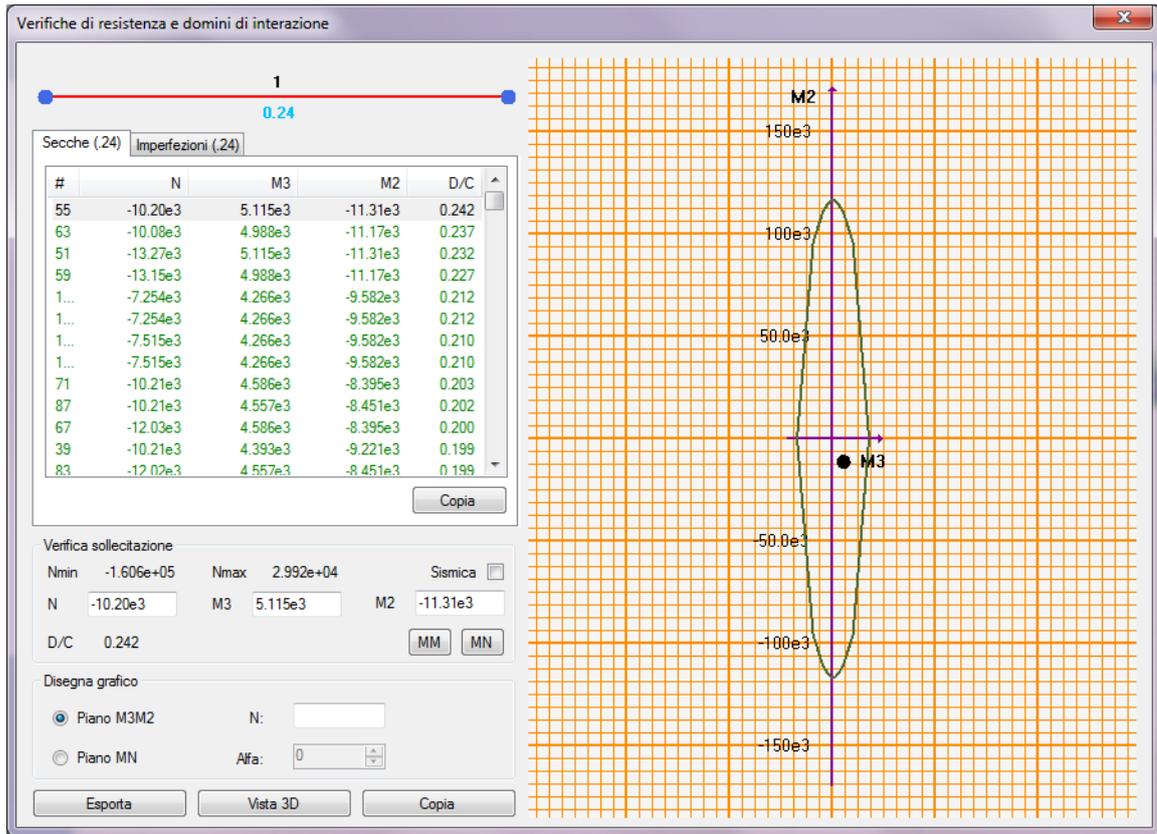


Figura 10-3 – Pila 1: Dettaglio verifica PMM – piano MM (unità di misura: kN; m; °C)

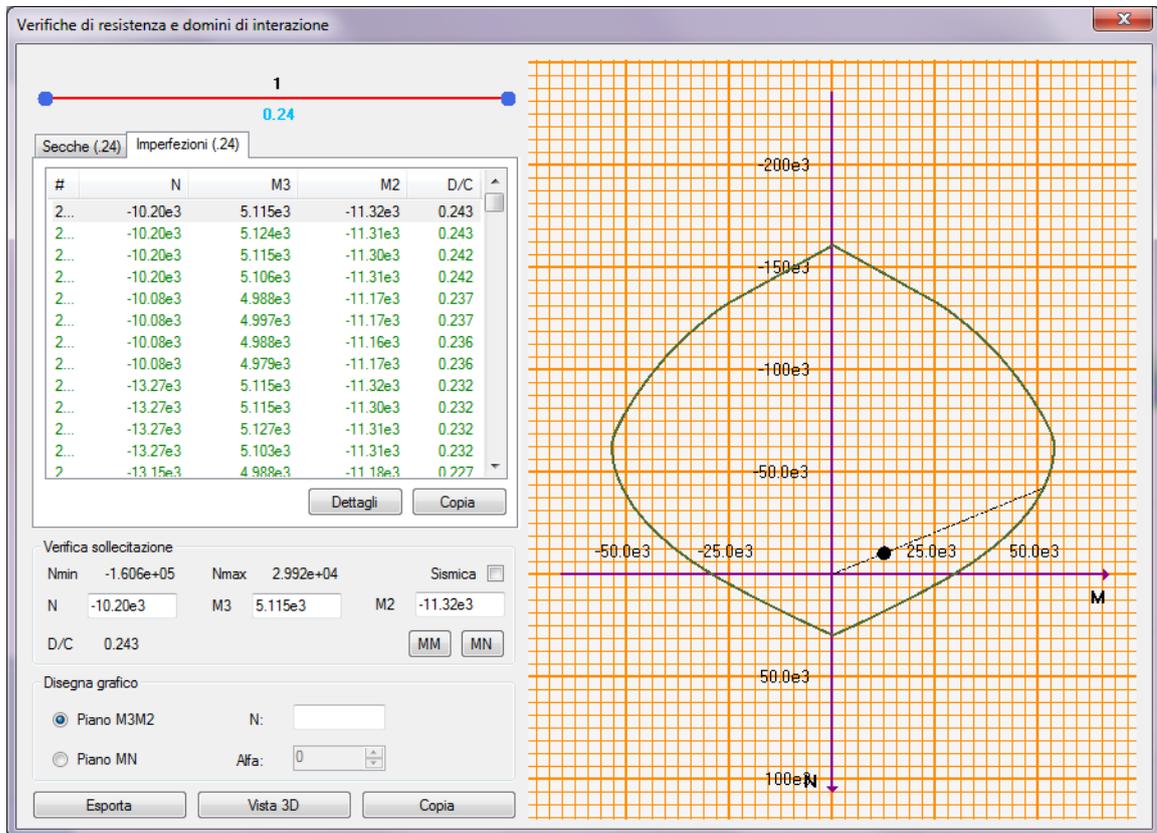


Figura 10-4 – Pila 1: Dettaglio verifica PMM – piano MN (unità di misura: kN; m; °C)

10.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni

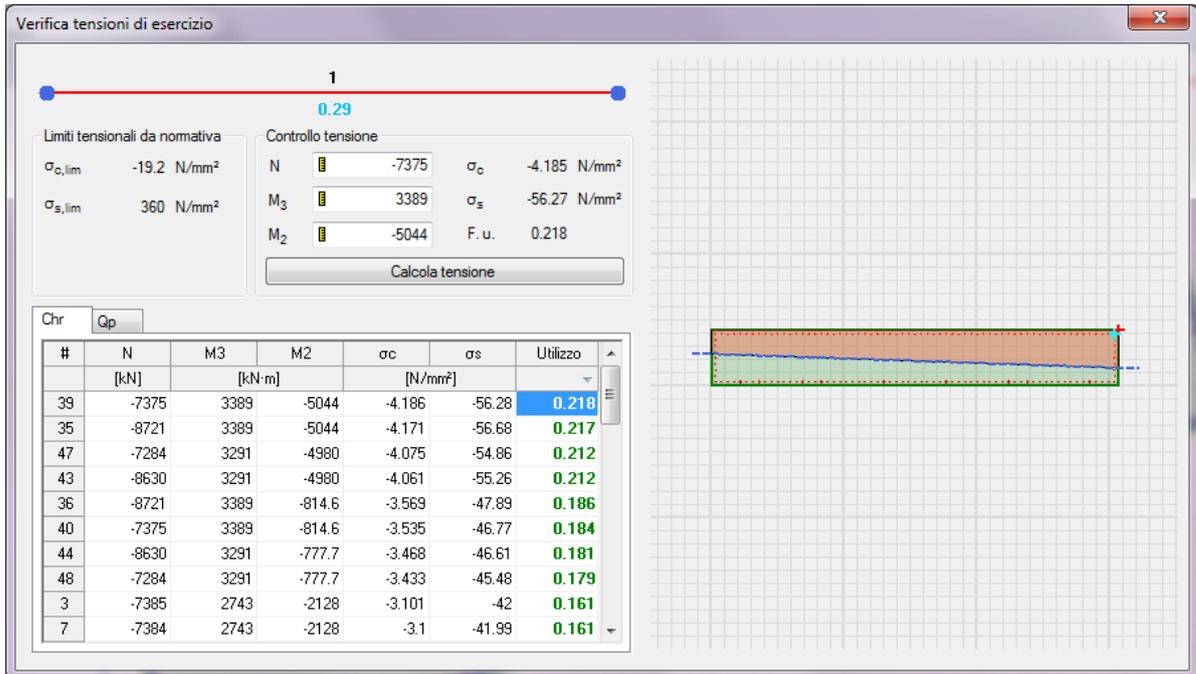


Figura 10-5 – Pila 1: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

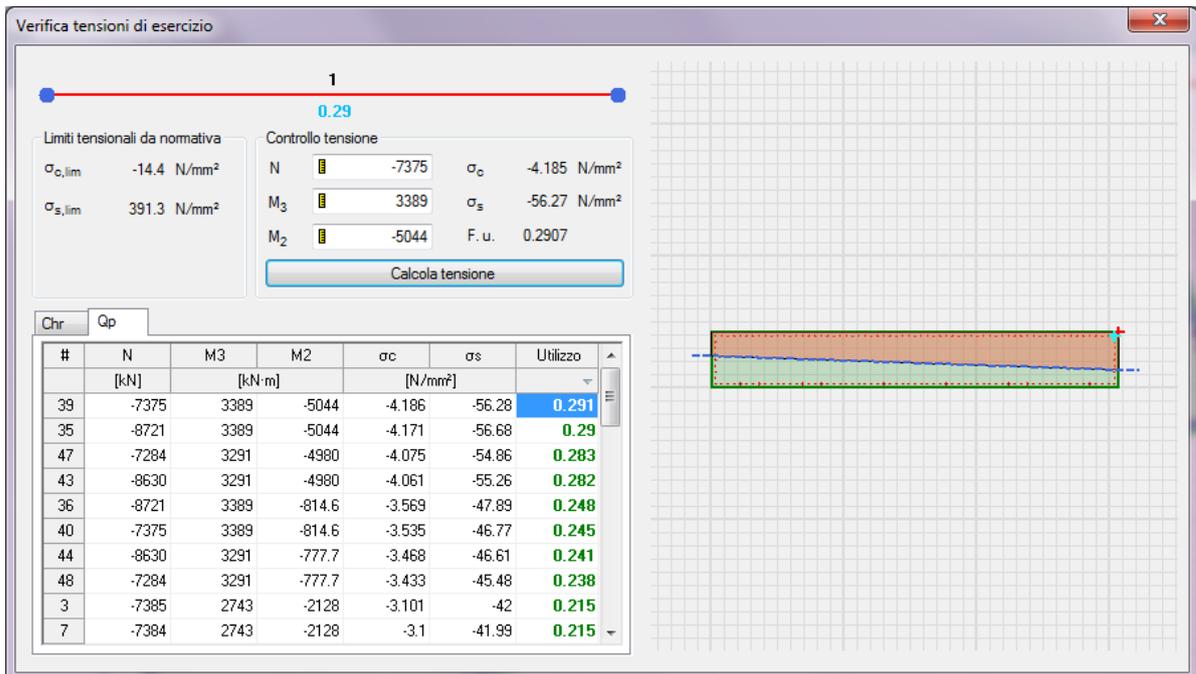


Figura 10-6 – Pila 1: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

10.1.3 Verifica SLE – Fessurazione

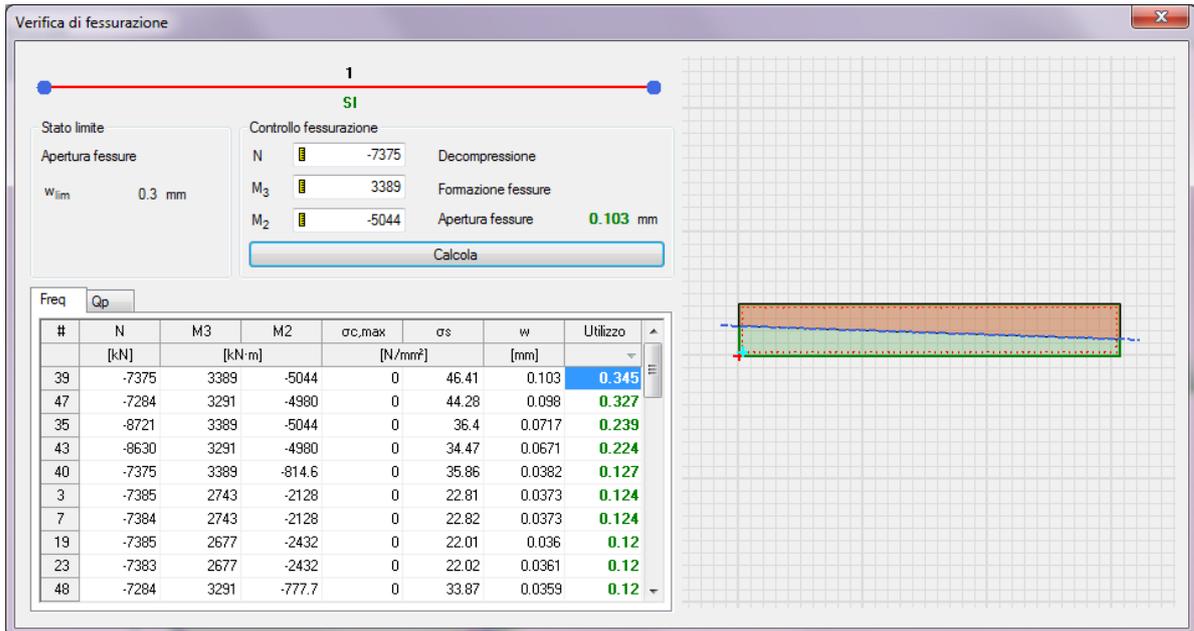


Figura 10-7 – Pila 1: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

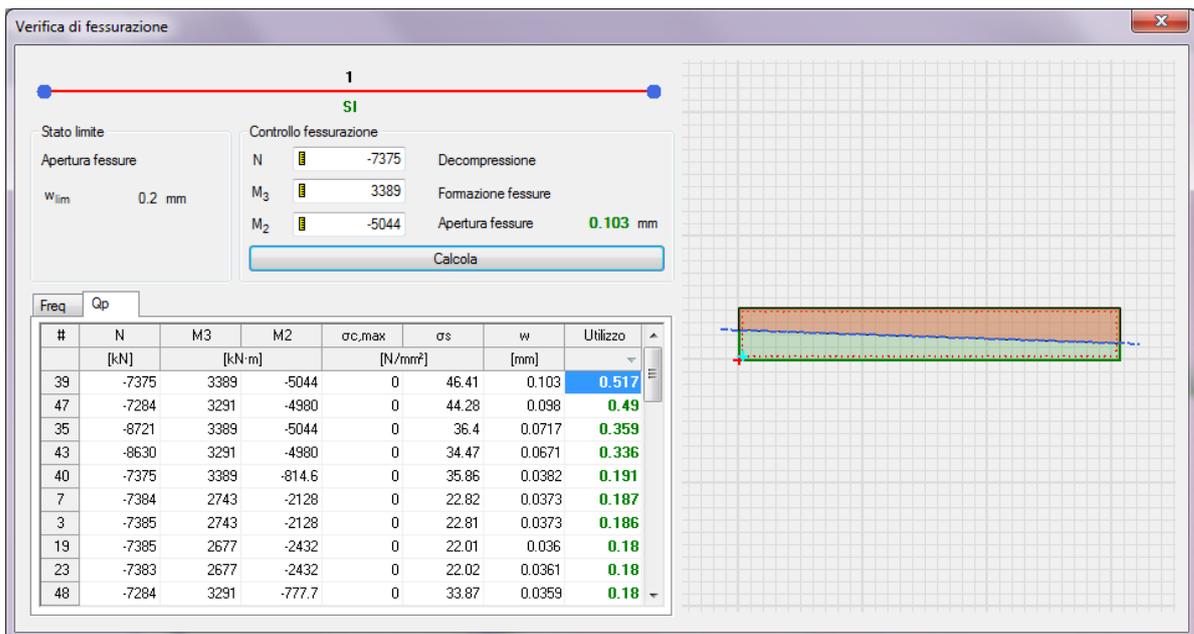


Figura 10-8 – Pila 1: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

## 10.2 Verifica fondazione

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

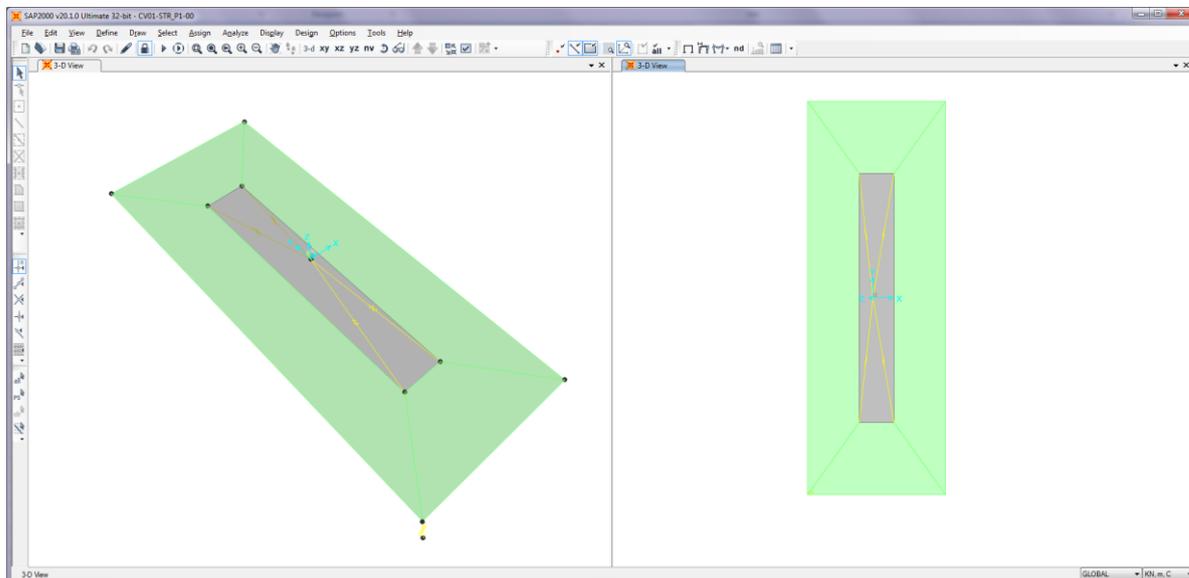


Figura 10-9 – Modello di calcolo

Il modello numerico è realizzato con elementi finiti bidimensionali tipo "shell-thick" ed elementi finiti tipo "link-linear" per il collegamento del nodo di riferimento al resto della struttura. Il nodo di riferimento è utilizzato per assegnare i carichi trasmessi dall'impalcato calcolati attraverso il modello numerico descritto nei paragrafi precedenti.

L'interazione terreno-struttura è stata tenuta in conto applicando alla zattera di fondazione delle molle "alla Winkler" assegnate nelle tre direzioni ortogonali.

AZIONI ALLO SPICCATO / PILE P1: ASTA N.10101										
ELEMENTO DI VERIFICA NUMERO			10101	TIPO SPALLA		PILE				
POSIZIONE (NODO I=1 - NODO J=2)			1	MOBILE		P1				
CARICHI MOBILI			Min	M2	SP1					
			Max	P1						
Descrizione	CODTYPE	NRIGA	V2=Ti [KN]	M3=Ml [KNm]	V3=Tt [KN]	M2=Mtr [KNm]	T=Mt [KNm]	P=N [KN]	F	CC
G1-IMPALCATO	0	28	0	371	0	-131	0	-1966	1.000	1.000
G1-SOLETTA	0	44	0	311	0	-110	0	-1650	1.000	1.000
G1-PILA	0	36	0	0	0	0	0	-2070	1.000	1.000
G2-PERMANENTI	0	52	-1	255	-4	-738	24	-1700	1.000	1.000
E1-DISTORSIONI	0	4	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000
E2-RITIRO	0	12	-18	-132	-50	-515	-41	2	1.000	1.000
E4-CEDIMENTI	0	20	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000
Q1-MOBILI-KK	1	194	-1	509	-4	-3778	66	-2257	1.000	1.000
Q1-MOBILI-FQ	1	98	-1	318	-3	-2053	40	-1336	1.000	1.000
Q3-FRENTATURA	0	252	-2	-2	-5	-64	-9	-1	1.000	1.000
Q4-CENTRIFUGA	0	260	-3	-24	-9	-106	-4	0	1.000	1.000
Q5-VENTO-C	0	268	-45	-328	-129	-1522	-47	4	1.000	1.000
Q7-ATTRITO-P	0	300	201	1805	-71	-635	23	0	1.000	1.000
Q6-SISMA_L	0	276	150	855	231	2562	103	153	1.000	1.000
Q6-SISMA_T	0	284	459	3041	633	7154	299	38	1.000	1.000
Q6-SISMA_V	0	292	23	100	44	553	37	152	1.000	1.000

DATI PER CALCOLO FONDAZIONI PILE	
Accelerazione al suolo (ag)	0.077
Coefficiente di suolo (S=S <sub>1</sub> x S <sub>2</sub> )	1.000
k <sub>h</sub> = 5 x b <sub>m</sub> a <sub>g</sub> /g = coefficiente sismico orizzontale	0.077
k <sub>v</sub> = 0.5 k <sub>h</sub> = coefficiente sismico verticale	0.038
β <sub>m</sub> = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	1.00
T <sub>RI</sub> = Peso rinterrò	20.00
HR = Altezza rinterrò	1.00
Diametro pali	0.00
Lunghezza elastica dei pali	0.00
Scalramento	0.00
Classe del calcestruzzo pali	0.00
Modulo di elasticità del calcestruzzo dei pali	2.058E+07
Accelerazione dir X ----->	0.752
Accelerazione dir Y ----->	0.752
Accelerazione dir Z ----->	0.376
G1-PESO_FONDAZIONE	1.000
G1-PESO_RINTERRÒ	20.000
Q6-INERZIA_MASSE_L	0.752
Q6-INERZIA_MASSE_T	0.752
Q6-INERZIA_MASSE_V	0.376

Figura 10-10 – Tabella assegnazione azioni al modello di calcolo

### 10.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV

Si riportano di seguito le color map che diagrammano le richieste di armatura calcolate dal programma in funzione dell'involuppo delle sollecitazioni per lo stato limite in oggetto, a cui viene applicato il metodo di Wood - Armer nelle due direzioni ortogonali.

Le richieste di armatura, espresse in  $\text{mm}^2/\text{mm}$ , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

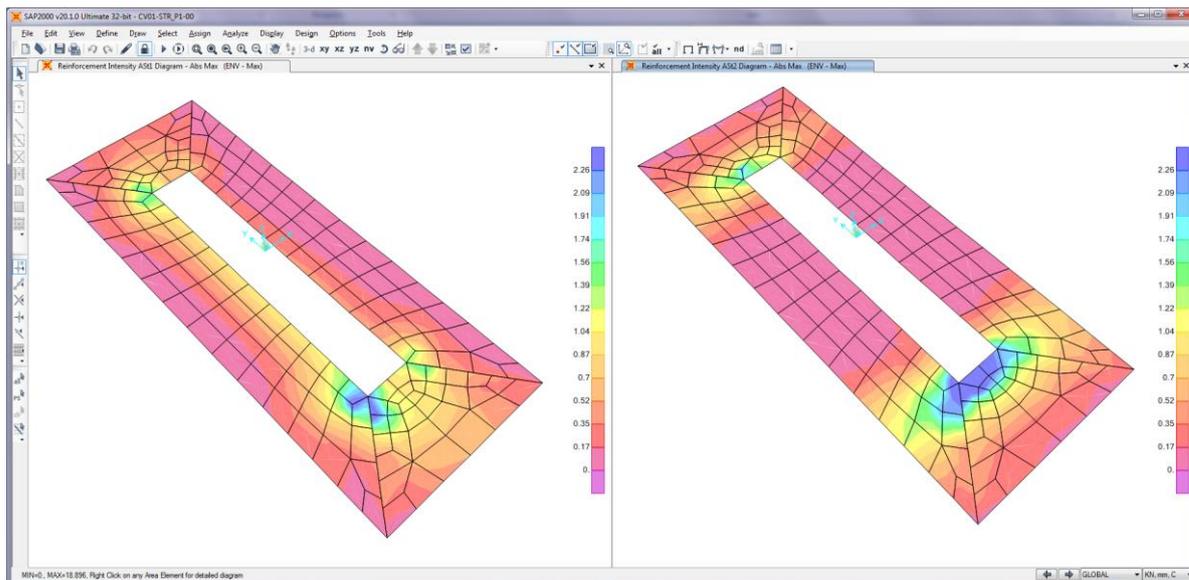


Figura 10-11 – Richiesta di armatura: Ast1\_SX e Ast2\_DX

Le richieste di armatura massime sono compatibili con le incidenze indicate negli elaborati e riassunte nella tabella sottostante.

	Ast1			Ast2		
	passo cm	$\Phi$ mm	Area $\text{mm}^2/\text{mm}$	passo cm	$\Phi$ mm	Area $\text{mm}^2/\text{mm}$
PLATEA	20	24	2.26	20	24	2.26

### 10.2.2 Verifica a ribaltamento

Di seguito si riporta la verifica al ribaltamento della pila, valutato nella direzione longitudinale e trasversale dell'impalcato, considerando il cinematismo di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

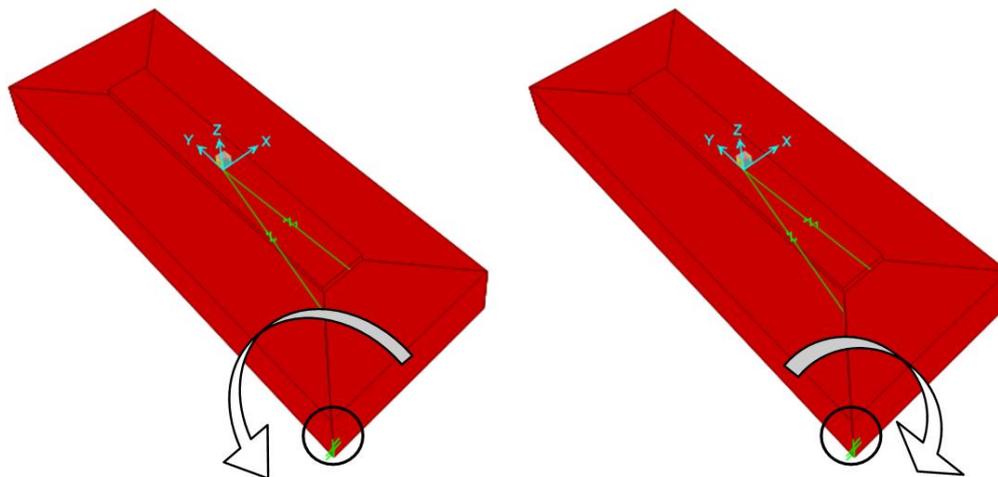


Figura 10-12 – Zattera di fondazione: cinematismo di ribaltamento

Le verifiche, in accordo al paragrafo 6.5.3.1 delle NTC18, sono condotte considerando l'Approccio di tipo 2, con la combinazione (A1+M1+R3), dove si pone  $R3 = 1.15$  per le condizioni SLU e  $R3 = 1$  per le condizioni SLV.

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLU sono:

**VER\_RIB\_C** in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte carico;

**VER\_RIB\_S** in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte scarico;

**TABLE: Combination Definitions**

ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
VER_RIB_C	Linear Add	No	Response Combo	EQU_1	1.15
VER_RIB_C			Response Combo	EQU_3	1
VER_RIB_S	Linear Add	No	Response Combo	EQU_2	1.15
VER_RIB_S			Response Combo	EQU_3	1

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLV sono descritte nel paragrafo relativo alle combinazioni di carico.

Per la convenzione dei segni utilizzata, le verifiche si intendono soddisfatte quando il segno della reazione vincolare del momento intorno all'asse di ribaltamento risulta:

- positivo nella direzione longitudinale ( $M1 > 0$ );
- negativo nella direzione trasversale ( $M2 < 0$ );

Si riportano i risultati ottenuti.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	SLU_VC	Combination	394	365	14420	73233	-23104	-1281
1	SLU_SL1	Combination	479	535	9780	49238	-16196	-1415
1	SLU_SL2	Combination	465	509	9639	48793	-15992	-1410
1	SLU_ST1	Combination	580	932	9699	45152	-14314	-1063
1	SLU_ST2	Combination	566	906	9558	44707	-14110	-1058
1	SLU_V1	Combination	275	404	9836	51127	-17014	-547
1	SLU_V2	Combination	228	316	9367	49644	-16333	-530
1	VER_RIB_C	Combination	431	359	11116	50783	-16150	-1487
1	VER_RIB_S	Combination	426	345	8596	44396	-12139	-1614

i risultati ottenuti, evidenziati in giallo, soddisfano tutti tale condizione.

Sono state lette le varie combinazioni rispetto all'asse di ribaltamento.

In particolare le combinazioni di tipo ribaltante sono state incrementate x 1.15 (paragrafo 6.5.3.1.1 delle NTC18, in osservanza alla Tab. 6.5.I) mentre quelle stabilizzanti sono state assunte unitarie. Il risultato della verifica mostra ulteriori riserve di sicurezza rispetto alle minime imposte.

## 11. VERIFICHE PILA 2

### 11.1 Verifica Elevazione

#### 11.1.1 Verifica SLU-SLV

Si riportano di seguito le verifiche relative alla pila 2; le verifiche sono state condotte sul fusto della pila, nella sezione di attacco alla fondazione.

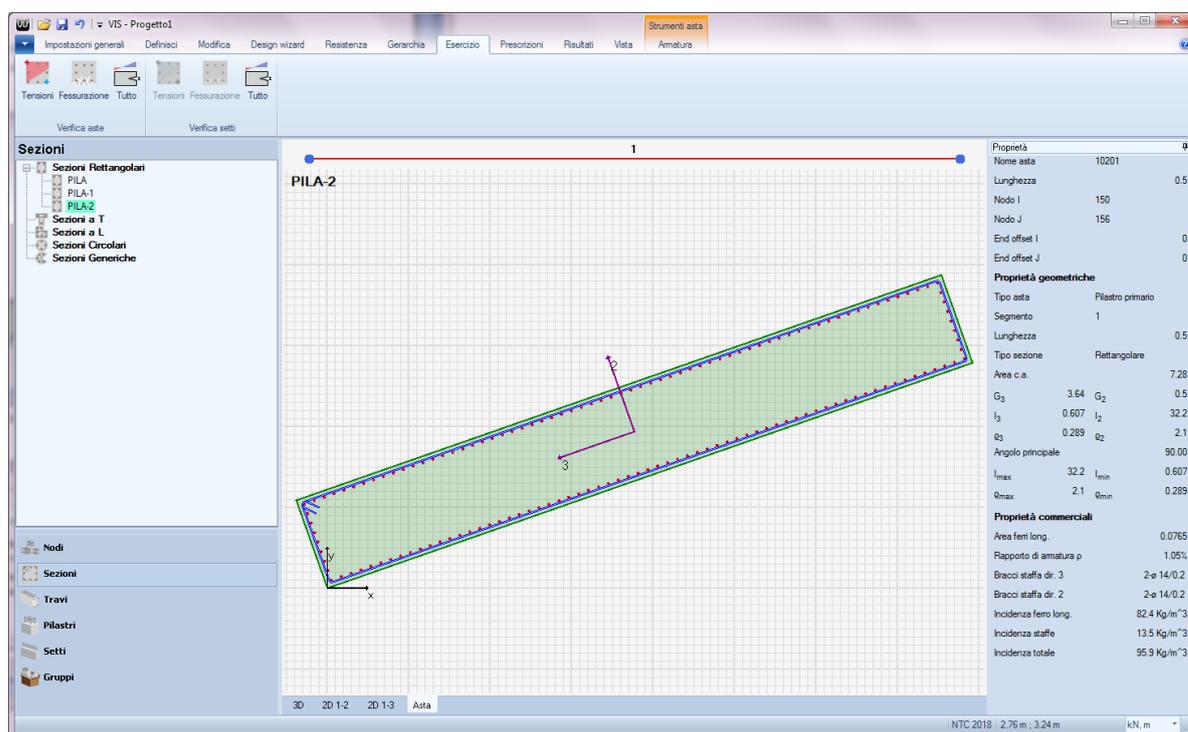


Figura 11-1 – Pila 2: sezione di verifica 7.285 x 1.00 –  $\phi$ 26/10

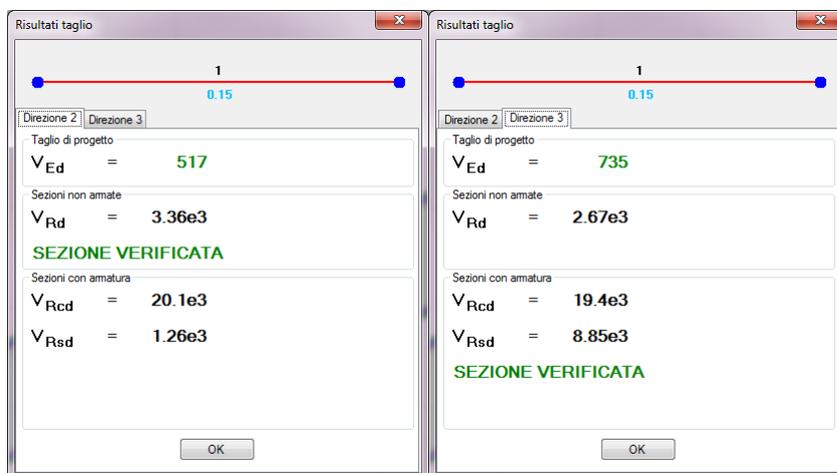


Figura 11-2 – Pila 2: Dettaglio verifiche a taglio ( $V_2$  e  $V_3$ ) (unità di misura: kN; m; °C)

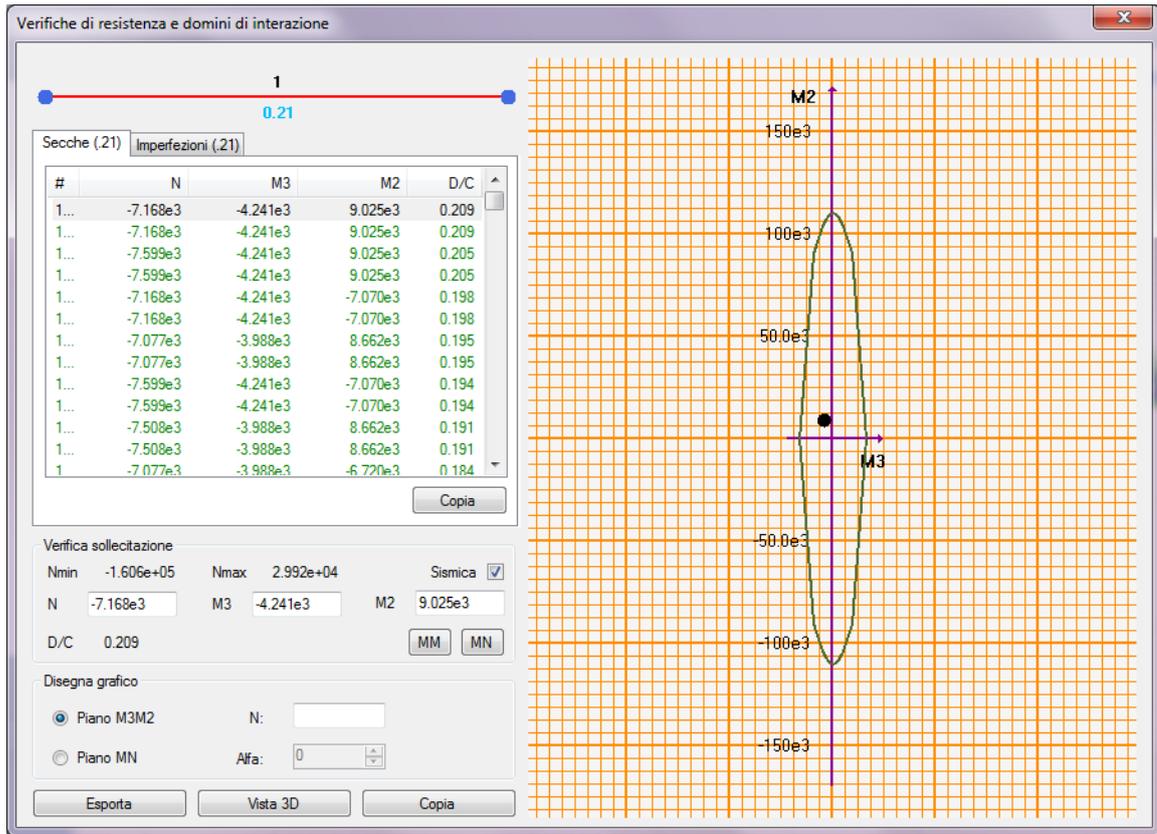


Figura 11-3 – Pila 2: Dettaglio verifica PMM – piano MM (unità di misura: kN; m; °C)

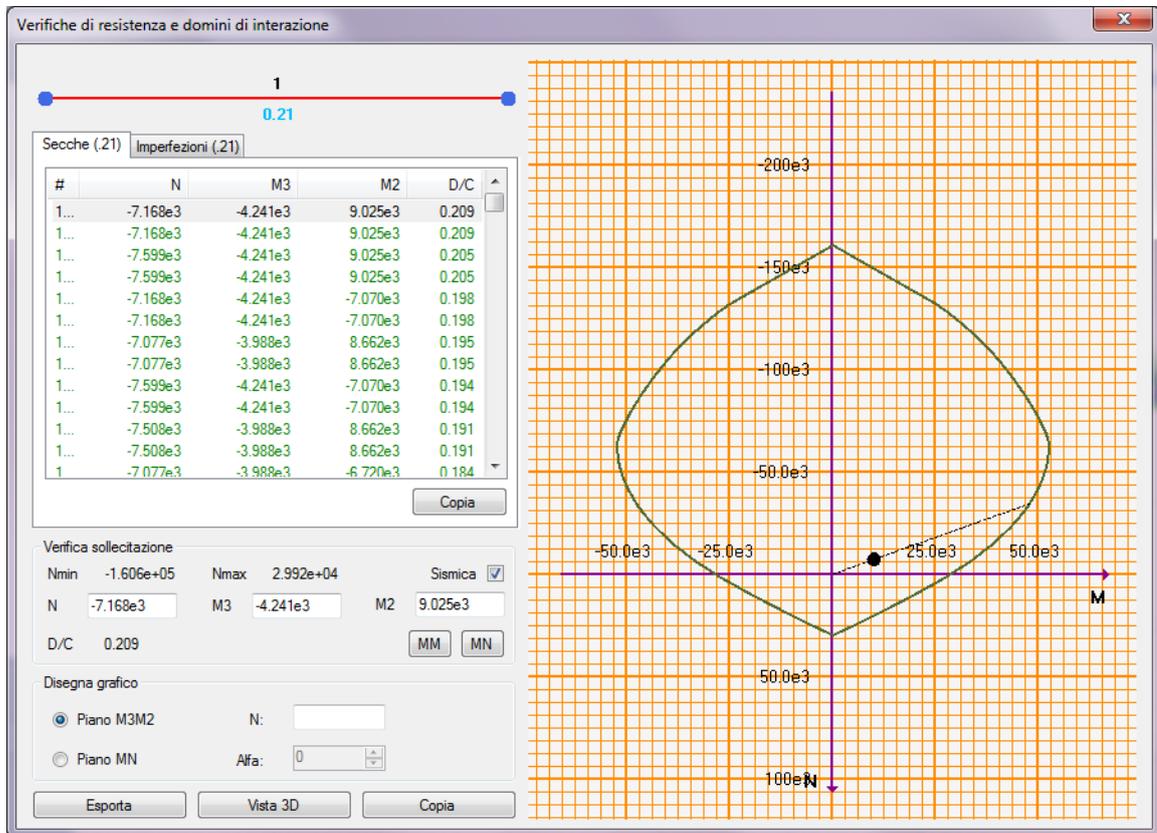


Figura 11-4 – Pila 2: Dettaglio verifica PMM – piano MN (unità di misura: kN; m; °C)

11.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni

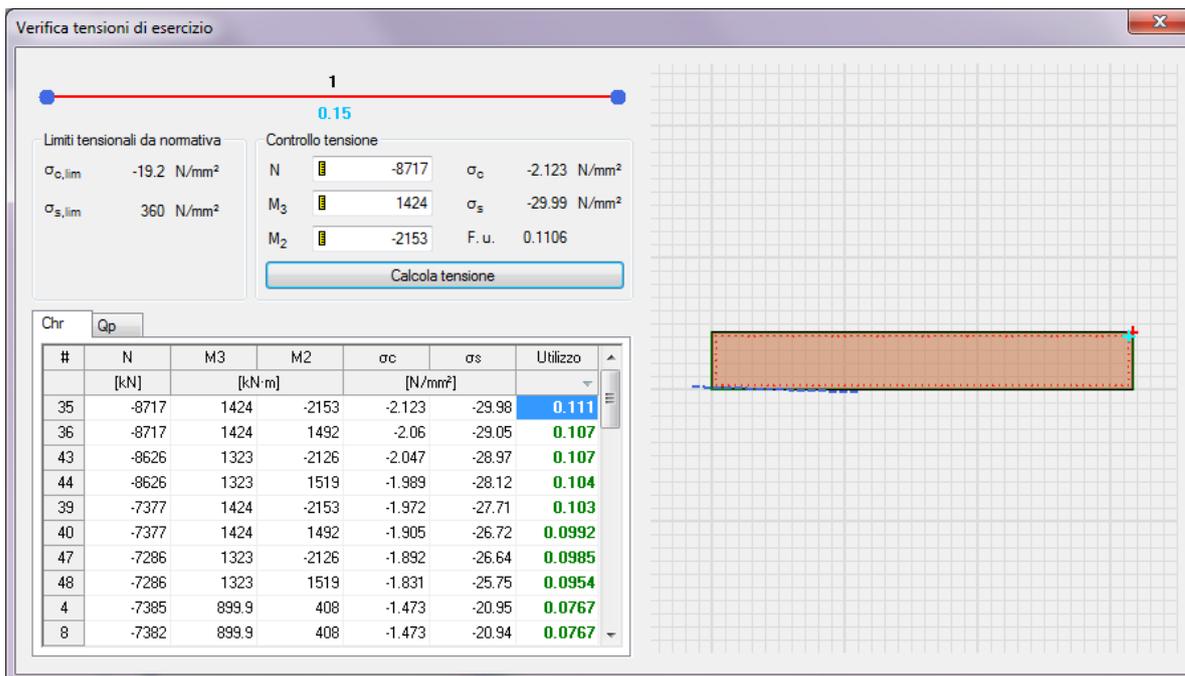


Figura 11-5 – Pila 2: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

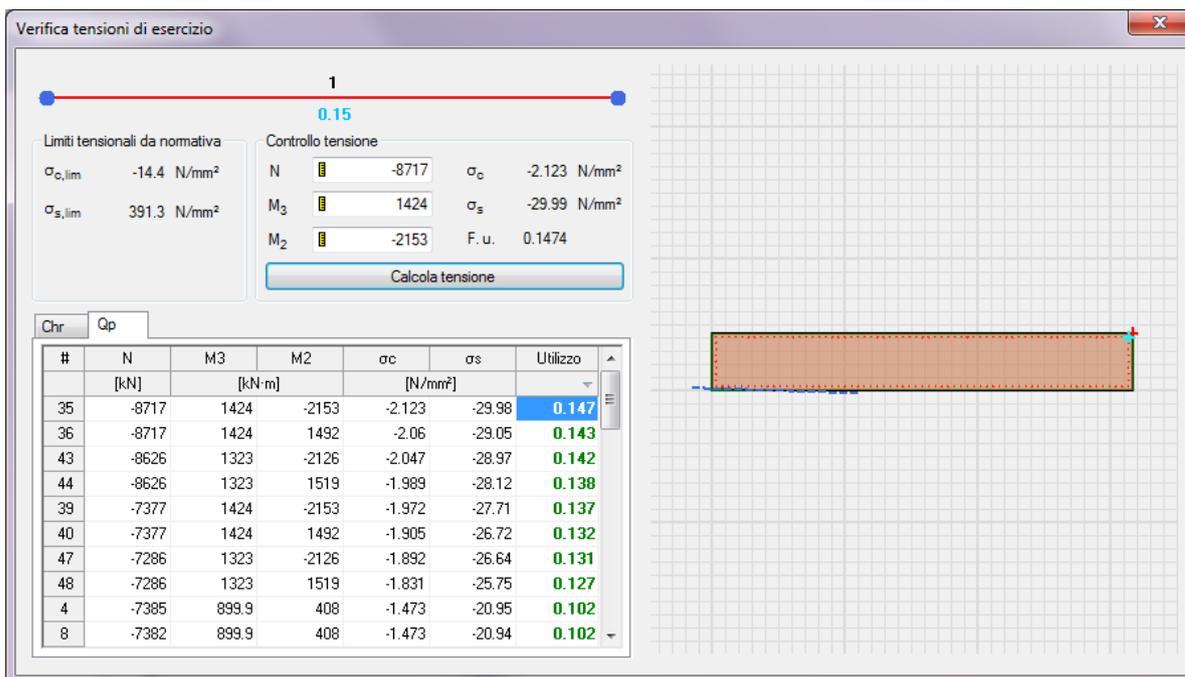


Figura 11-6 – Pila 2: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

11.1.3 Verifica SLE – Fessurazione

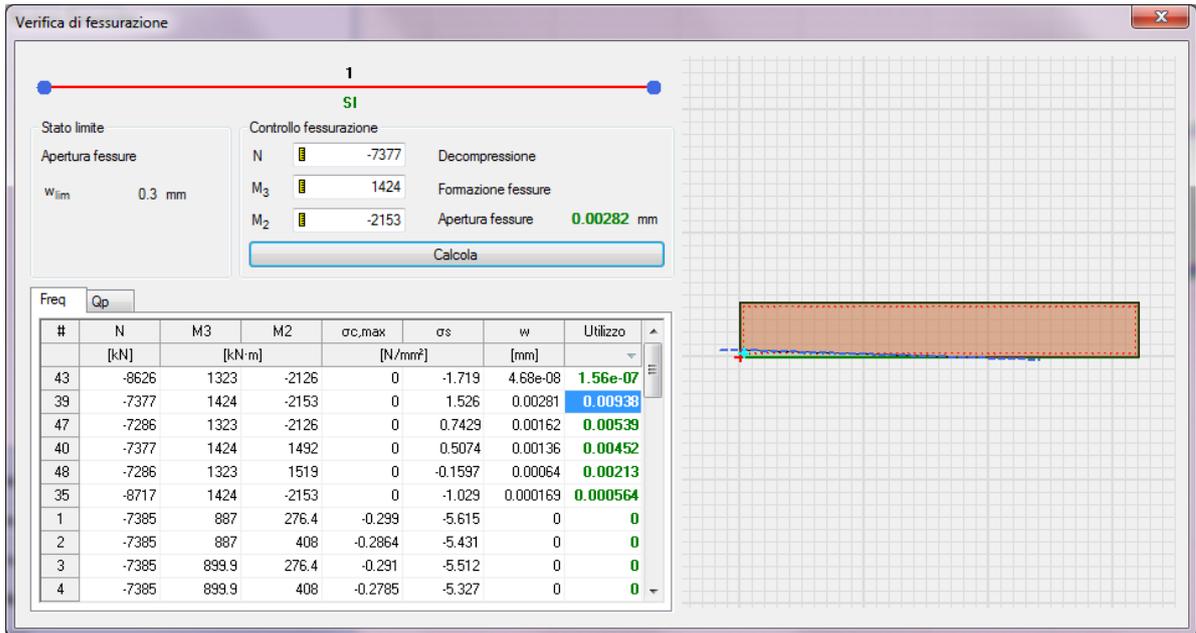


Figura 11-7 – Pila 2: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

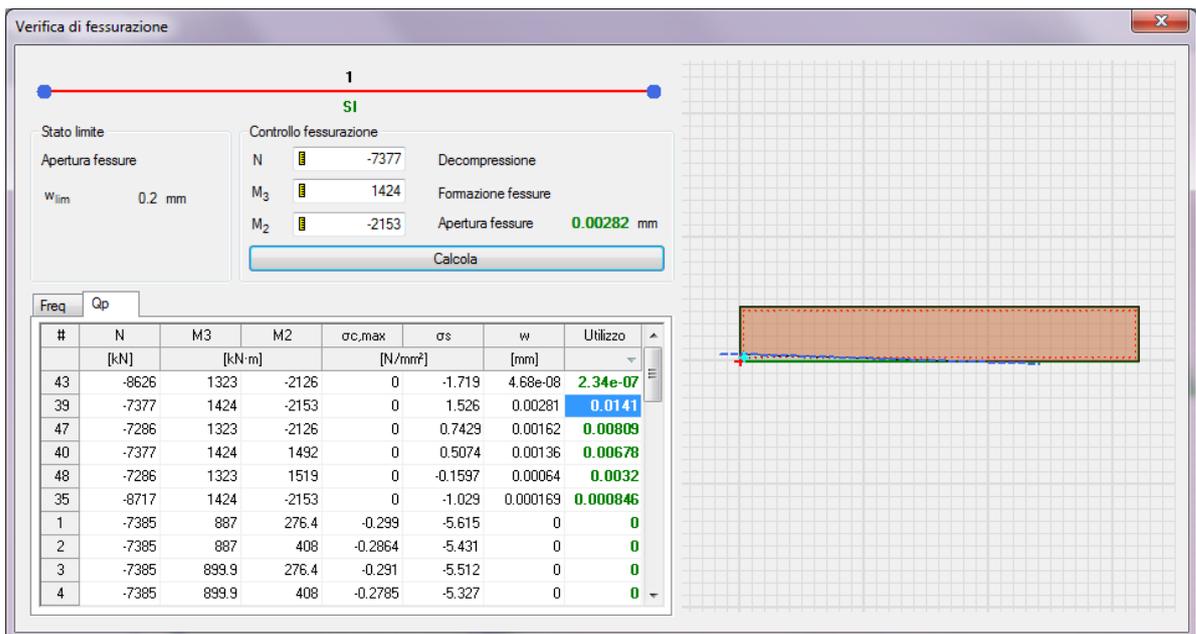


Figura 11-8 – Pila 2: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

## 11.2 Verifica fondazione

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

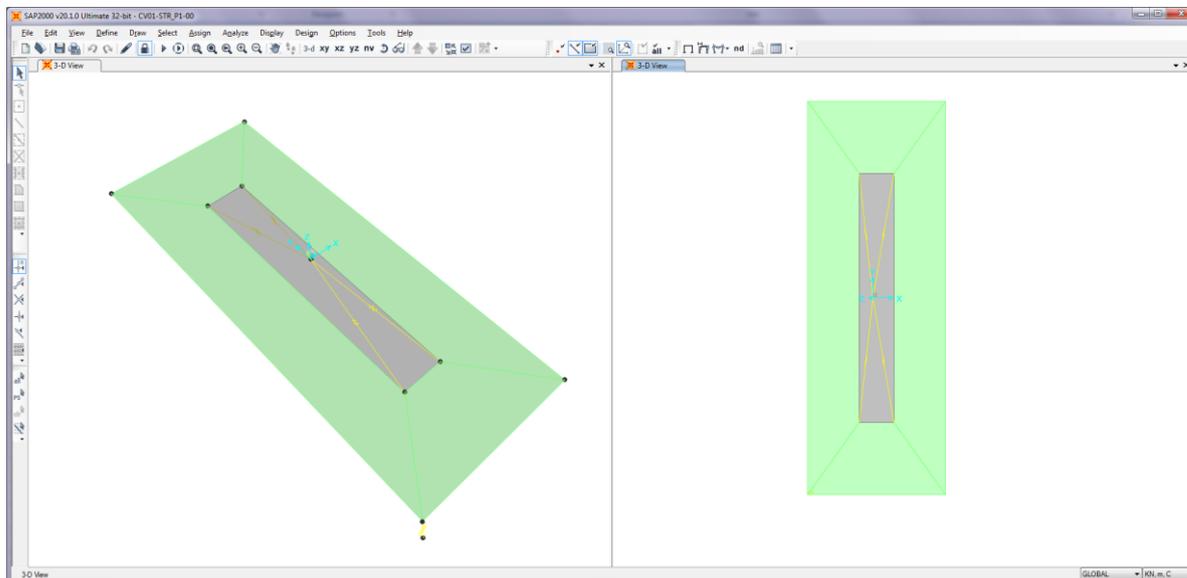


Figura 11-9 – Modello di calcolo

Il modello numerico è realizzato con elementi finiti bidimensionali tipo "shell-thick" ed elementi finiti tipo "link-linear" per il collegamento del nodo di riferimento al resto della struttura. Il nodo di riferimento è utilizzato per assegnare i carichi trasmessi dall'impalcato calcolati attraverso il modello numerico descritto nei paragrafi precedenti.

L'interazione terreno-struttura è stata tenuta in conto applicando alla zattera di fondazione delle molle "alla Winkler" assegnate nelle tre direzioni ortogonali.

AZIONI ALLO SPICCATO / PILE P2: ASTA N.10201										
ELEMENTO DI VERIFICA NUMERO			10201		TIPO SPALLA		PILA			
POSIZIONE (NODO I=1 - NODOJ=2)			1		MOBILE		P2			
CARICHI MOBILI			M1	M2	P	D2	SP2			
Descrizione	CODTYPE	NRIGA	V2=Ti [kN]	M3=MI [kNm]	V3=Ti [kN]	M2=Mtr [kNm]	T=Mt [kNm]	P=N [kN]	F	CC
G1-IMPALCATO	0	30	0	-371	0	131	0	-1966	1.000	1.000
G1-SOLETTA	0	46	0	-311	0	110	0	-1650	1.000	1.000
G1-PILA	0	38	0	0	0	0	0	-2070	1.000	1.000
G2-PERMANENTI	0	54	3	-236	10	803	-72	-1700	1.000	1.000
E1-DISTORSIONI	0	6	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000
E2-RITIRO	0	14	2	13	6	-132	-12	4	1.000	1.000
E4-CEDIMENTI	0	22	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000
Q1-MOBILI-KK	1	218	17	-720	49	-1843	-44	-2251	1.000	1.000
Q1-MOBILI-FQ	1	122	11	-491	31	-1003	-39	-1331	1.000	1.000
Q3-FRENTATURA	0	254	3	1	8	102	-2	52	1.000	1.000
Q4-CENTRIFUGA	0	262	-3	-24	-9	-104	-3	0	1.000	1.000
Q5-VENTO-C	0	270	-45	-325	-128	-1499	-39	-3	1.000	1.000
Q7-ATTRITO-P	0	302	201	1805	-71	-635	-23	0	1.000	1.000
Q6-SISMA_L	0	278	159	887	254	2827	87	464	1.000	1.000
Q6-SISMA_T	0	286	457	3025	630	6974	205	30	1.000	1.000
Q6-SISMA_V	0	294	24	105	43	531	22	146	1.000	1.000

DATI PER CALCOLO FONDAZIONI PILE	
Accelerazione al suolo (ag)	0.077
Coefficiente di suolo (S=S <sub>1</sub> x S <sub>2</sub> )	1.000
k <sub>h</sub> = S x b <sub>h</sub> a <sub>h</sub> /g = coefficiente sismico orizzontale	0.077
k <sub>v</sub> = 0.5 k <sub>h</sub> = coefficiente sismico verticale	0.038
β <sub>sm</sub> = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	1.00
Y <sub>RINT</sub> = Peso rinterro	20.000
HR = Altezza rinterro	1.00
Diametro pali	0.00
Lunghezza elastica dei pali	0.00
Scalramento	0.00
Classe del calcestruzzo pali	0.00
Modulo di elasticità del calcestruzzo dei pali	2.058E+07
Accelerazione dir X ----->>	0.752
Accelerazione dir Y ----->>	0.752
Accelerazione dir Z ----->>	0.376
G1-PESO FONDAZIONE	1.000
G1-PESO RINTERRO	20.000
Q6-INERZIA_MASSE_L	0.752
Q6-INERZIA_MASSE_T	0.752
Q6-INERZIA_MASSE_V	0.376

Figura 11-10 – Tabella assegnazione azioni al modello di calcolo

### 11.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV

Si riportano di seguito le color map che diagrammano le richieste di armatura calcolate dal programma in funzione dell'involuppo delle sollecitazioni per lo stato limite in oggetto, a cui viene applicato il metodo di Wood - Armer nelle due direzioni ortogonali.

Le richieste di armatura, espresse in  $\text{mm}^2/\text{mm}$ , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

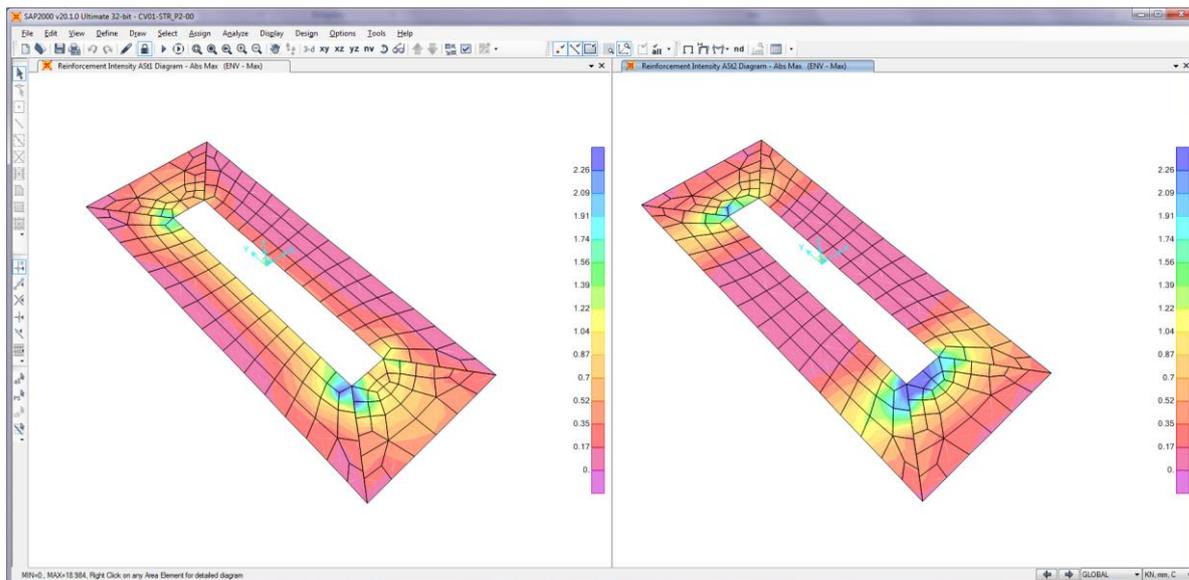


Figura 11-11 – Richiesta di armatura: Ast1\_SX e Ast2\_DX

Le richieste di armatura massime sono compatibili con le incidenze indicate negli elaborati e riassunte nella tabella sottostante.

	Ast1			Ast2		
	passo cm	$\Phi$ mm	Area $\text{mm}^2/\text{mm}$	passo cm	$\Phi$ mm	Area $\text{mm}^2/\text{mm}$
PLATEA	20	24	2.26	20	24	2.26

### 11.2.2 Verifica a ribaltamento

Di seguito si riporta la verifica al ribaltamento della pila, valutato nella direzione longitudinale e trasversale dell'impalcato, considerando il cinematismo di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

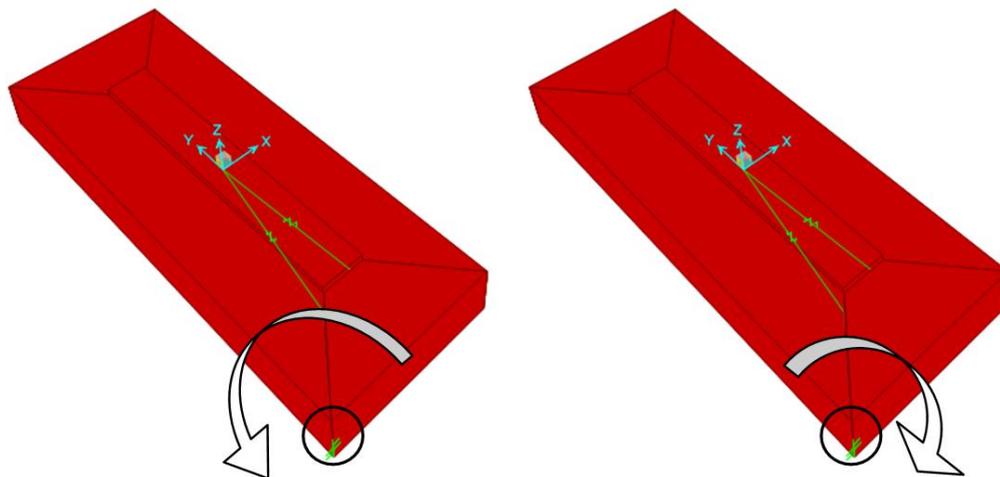


Figura 11-12 – Zattera di fondazione: cinematismo di ribaltamento

Le verifiche, in accordo al paragrafo 6.5.3.1 delle NTC18, sono condotte considerando l'Approccio di tipo 2, con la combinazione (A1+M1+R3), dove si pone  $R3 = 1.15$  per le condizioni SLU e  $R3 = 1$  per le condizioni SLV.

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLU sono:

**VER\_RIB\_C** in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte carico;

**VER\_RIB\_S** in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte scarico;

**TABLE: Combination Definitions**

ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
VER_RIB_C	Linear Add	No	Response Combo	EQU_1	1.15
VER_RIB_C			Response Combo	EQU_3	1
VER_RIB_S	Linear Add	No	Response Combo	EQU_2	1.15
VER_RIB_S			Response Combo	EQU_3	1

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLV sono descritte nel paragrafo relativo alle combinazioni di carico.

Per la convenzione dei segni utilizzata, le verifiche si intendono soddisfatte quando il segno della reazione vincolare del momento intorno all'asse di ribaltamento risulta:

- positivo nella direzione longitudinale ( $M1 > 0$ );
- negativo nella direzione trasversale ( $M2 < 0$ );

Si riportano i risultati ottenuti.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	SLU_VC	Combination	376	316	14447	74502	-23462	-1248
1	SLU_SL1	Combination	474	518	10089	51151	-16930	-1449
1	SLU_SL2	Combination	459	492	9952	50710	-16736	-1430
1	SLU_ST1	Combination	567	898	9785	46115	-14645	-1143
1	SLU_ST2	Combination	553	872	9648	45675	-14451	-1124
1	SLU_V1	Combination	264	371	9924	51988	-17331	-583
1	SLU_V2	Combination	216	285	9466	50518	-16684	-519
1	VER_RIB_C	Combination	435	371	11189	52752	-16651	-1424
1	VER_RIB_S	Combination	427	349	8594	44362	-12157	-1583

i risultati ottenuti, evidenziati in giallo, soddisfano tutti tale condizione.

Sono state lette le varie combinazioni rispetto all'asse di ribaltamento.

In particolare le combinazioni di tipo ribaltante sono state incrementate x 1.15 (paragrafo 6.5.3.1.1 delle NTC18, in osservanza alla Tab. 6.5.I) mentre quelle stabilizzanti sono state assunte unitarie. Il risultato della verifica mostra ulteriori riserve di sicurezza rispetto alle minime imposte.

## 12. VERIFICA DELLE SPALLE

### 12.1 Modello di calcolo

Per le strutture della spalla è stato definito un modello numerico rappresentativo con il programma di calcolo agli elementi finiti "Sap2000" della Computer and Structures Inc.

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

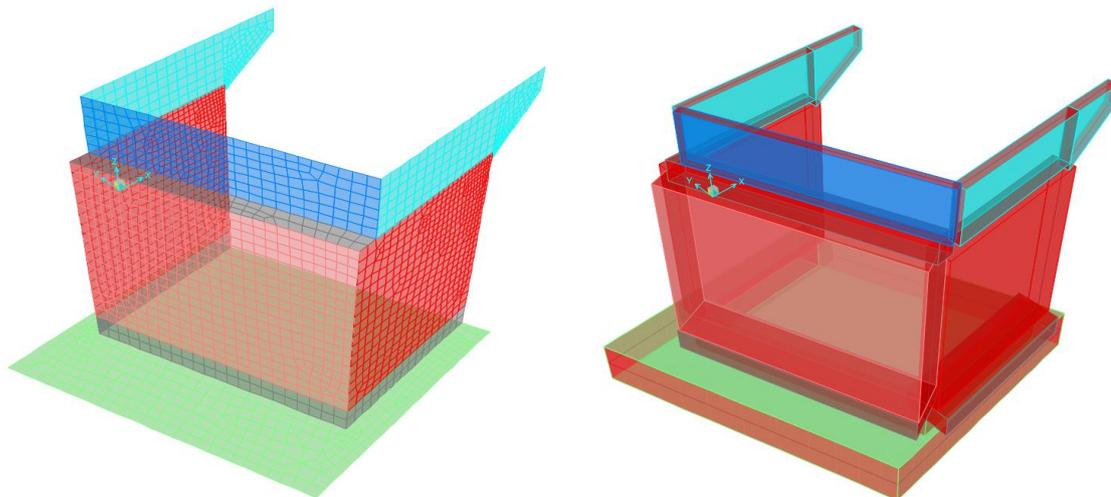


Figura 12-1 – Modello di calcolo

Il modello numerico è realizzato con elementi finiti bidimensionali tipo "shell-thick" ed elementi finiti tipo "link-linear" per il collegamento del nodo di riferimento al resto della struttura. Il nodo di riferimento è utilizzato per assegnare i carichi trasmessi dall'impalcato calcolati attraverso il modello numerico descritto nei paragrafi precedenti.

Le azioni agenti direttamente sulla spalla sono assegnate come carichi uniformi applicati agli elementi "shell" e come carichi nodali attraverso leggi di variazione lineare "joint pattern", tali carichi sono assegnati unitari e vengono poi resi congruenti con i valori di progetto attraverso dei moltiplicatori che agiscono nei casi di analisi "load case".

L'interazione terreno-struttura è stata tenuta in conto applicando alla zattera di fondazione delle molle "alla Winkler" assegnate nelle tre direzioni ortogonali.

L'azione sismica del terreno è stata calcolata con la formulazione di Mononobe-Okabe.

Si riportano di seguito le azioni assegnate al modello numerico, a tali azioni viene assegnato il segno che ne massimizza gli effetti.

ELEMENTO DI VERIFICA NUMERO  
 POSIZIONE (NODO I=1 - NODOJ=2)  
 CARICHI MOBILI

10301 2	TIPO SPALLA		SPALLA		V3-Tt [KN]	M2-Mtr [kNm]	T-Mt [KNm]	P-N [KN]	F	CC
	FISSA	SP2	SP2	SP2						
	V2-Ti	M3-Ml	V3-Tt	M2-Mtr	T-Mt	P-N	F	CC		
	[KN]	[kNm]	[KN]	[kNm]	[KNm]	[KN]				
	0	0	0	0	0	-655	1.000	1.000		
G1-IMPALCATO	0	0	0	0	0	-550	1.000	1.000		
G1-SOLETTA	0	0	0	0	0	-612	1.000	1.000		
G2-PERMANENTI	0	0	-56	-8	156	117	1.000	1.000		
E1-DISTORSIONI	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000		
E2-RITIRO	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000		
E4-CEDIMENTI	0	0	-112	34	334	-1576	-3	1.000	1.000	
Q1-MOBILI-KK	1	235	0	600	1	-1703	-22	-1486	1.000	1.000
Q1-MOBILI-FQ	1	139	0	396	1	-1125	-22	-1002	1.000	1.000
Q3-FRENATURA	0	249	-533	-270	5	13	4	53	-1.000	1.000
Q4-CENTRIFUGA	0	257	0	5	-8	-17	12	1	1.000	1.000
Q5-VENTO-C	0	265	0	71	-92	-246	170	10	1.000	1.000
Q7-ATTRITO-P	0	297	-498	0	0	0	-6	0	1.000	1.000
Q6-SISMA_L	0	273	-2632	-1296	-100	-249	-371	-182	-1.000	1.000
Q6-SISMA_T	0	281	-115	-317	-410	-1026	-1634	-64	-1.000	1.000
Q6-SISMA_V	0	289	-146	-79	-31	-95	-20	-101	-1.000	1.000

DATI PER CALCOLO SPALLE

Accelerazione al suolo	0.077	verso Kv	1	1.000
Coefficiente di suolo (S=S <sub>1</sub> , x S <sub>2</sub> )	1.000	θ = arctg(K <sub>h</sub> )/(1±K <sub>v</sub> )		0.074
k <sub>h</sub> = S × b <sub>h</sub> , a <sub>h</sub> /g = coefficiente sismico orizzontale	0.077	δ = angolo attr.terra-muro	0.0	0.000
k <sub>v</sub> = 0.5 k <sub>h</sub> = coefficiente sismico verticale	0.039	ψ = angolo parete	90.0	1.571
β <sub>h</sub> = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	1	β = angolo terreno	0.0	0.000
Spinta su tutta l'altezza (1=si; 0=no)	1	φ = angolo attrito	35.0	0.611
Metodo spinta sismica (M=Mononobe;W=Wood)	M	K <sub>Mon</sub>		0.213
K0 (coefficiente di spinta in quiete)	0.426	K <sub>tot</sub> (1±K <sub>v</sub> )		0.324
Ka (coefficiente di spinta attiva)	0.271	Y <sub>sp</sub>	18	18
Q (variabile a tergo della spalla) KN/mq	20	Y <sub>INT</sub>	18	18
Spalla passante con speroni (1=si; 0=no)	0	K <sub>W</sub>		0.077
Spinte statiche ortogonali muri o dir L (1=orto; 0=Long.)	1	α	21.3	0.4
Rapporto fra lunghezza e spessore muro	5.75	FR	240.0	240.0
Rapporto fra lunghezza e spessore paraghiaia	26.59	HR		10.05
Dimensione longitudinale del rinterro ai fini del calcolo dell'inerzia sismica	7.19			1.00
Dimensione trasversale del rinterro ai fini del calcolo della inerzia sismica	10.00			5.00
Rapporto dimensione trasversale / dimensione longitudinale della fondazione	1.25			0.00
Geometria della fondazione (1=rettangolare; 0=sghemba)	0			28
				3.23E+07

							0.755	-0.755	0.755	0.378	
Accelerazione dir X ---->>											
Accelerazione dir Y ---->>											
Accelerazione dir Z ---->>											
CASI DI CARICO UNITARI											
	G1-PESO_SPALLA	G1-PESO_RINTERRO	G3-SPINTA_TERRA_S TA	Q1-SPINTA_MOBILI	Q3-FRENATURA_PAR A	G3-SPINTA_TERRA_S S	Q6-SOVRASPINTA_L	Q6- INERZIA_MASSE_L	Q6- INERZIA_MASSE_TP	Q6- INERZIA_MASSE_TN	Q6- INERZIA_MASSE_V
G1-PESO SPALLA	1.000										
T1_O_MURO			7.676			4.546	0.891				
U1_O_MURO				8.528			0.000	9.288			
T1_P_MURO			0.000			10.175	1.995				
U1_P_MURO				0.000			0.000	20.790			
T1_O_PARA			7.676			4.546	0.891				
U1_O_PARA				8.528			0.000	9.288			
T1_P_PARA			0.000			47.058	9.229				
U1_P_PARA				0.000			0.000	96.155			
T1_O_FOND			7.676			4.878	0.957				
U1_O_FOND				8.528			0.000				
T1_P_FOND			0.000				0.000				
U1_P_FOND				0.000			0.000				
T1_SPERONI			0.000				0.000				
U1_SPERONI				0.000			0.000	0.000			
T1_BANDIERE			7.676								
U1_BANDIERE_P				8.528					13.860		
U1_BANDIERE_N				8.528						13.860	
Z1_RINTERRO		180.900									6.965
L1_FRENATURA					240.000						

Figura 12-2 – Tabella assegnazione azioni al modello di calcolo

## 12.2 Verifiche strutturali SLU-SLV

Si riportano di seguito le color map che diagrammano le richieste di armatura calcolate dal programma in funzione dell'involuppo delle sollecitazioni per lo stato limite in oggetto, a cui viene applicato il metodo di Wood - Armer nelle due direzioni ortogonali.

Le richieste di armatura, espresse in  $\text{mm}^2/\text{mm}$ , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

I versi di disposizione delle armature denominate nel seguito come:  $A_{st1}$  e  $A_{st2}$  sono mostrati nella figura sottostante.

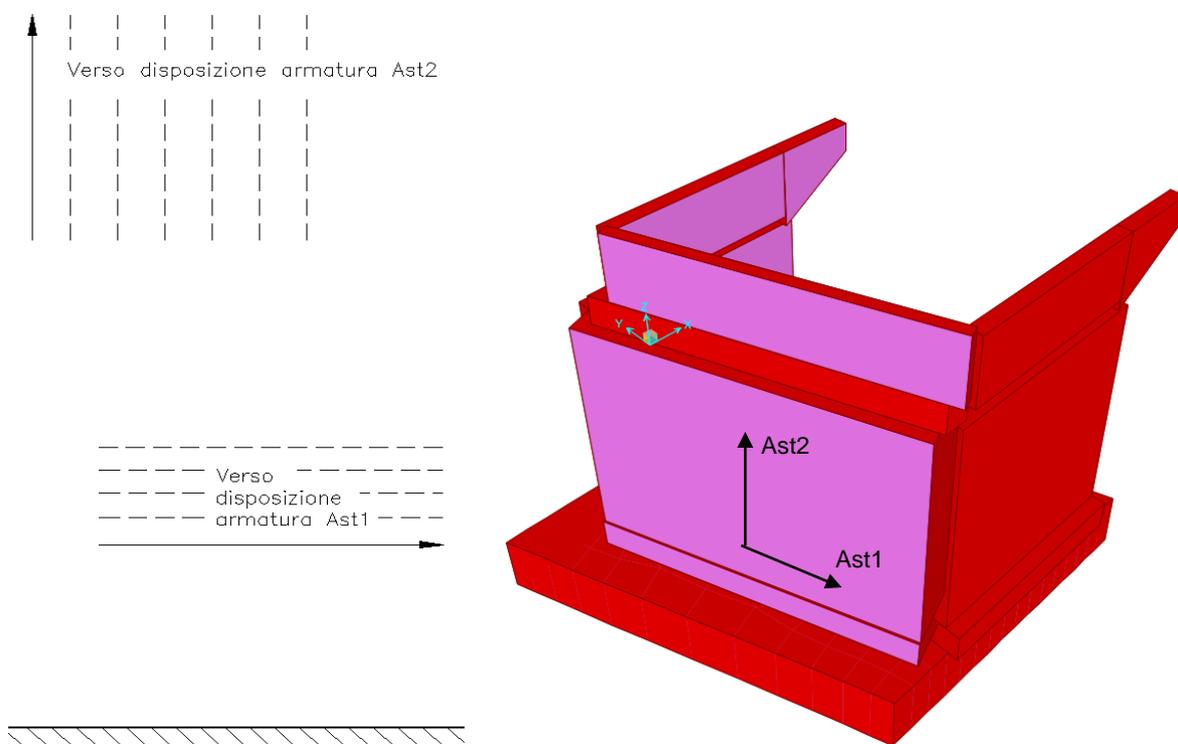


Figura 12-3 – Richiesta di armatura elevazione: convenzioni

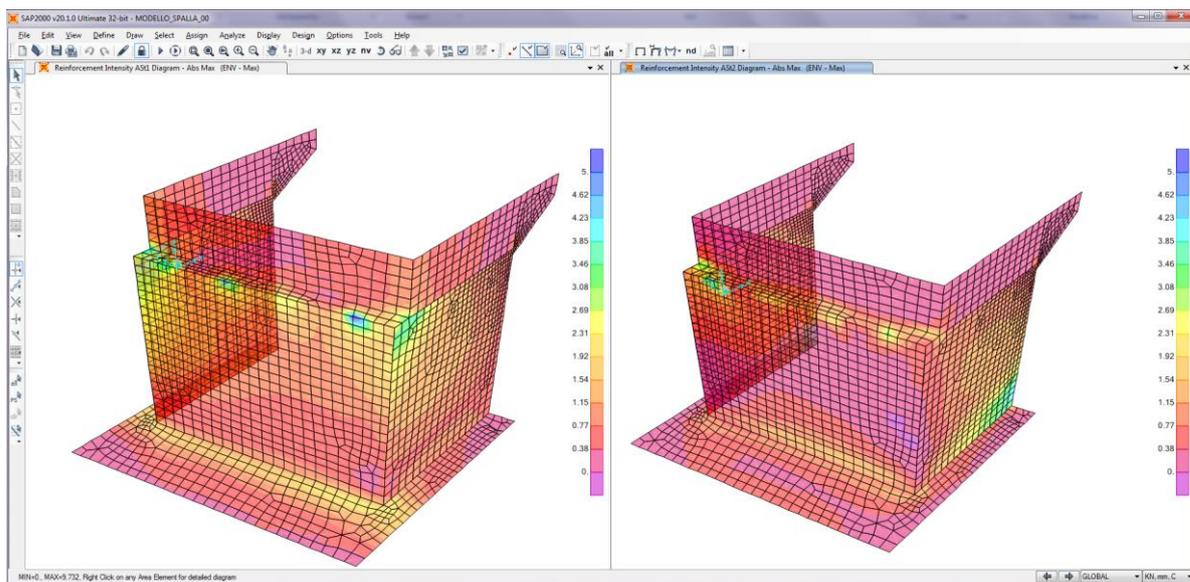


Figura 12-4 – Richiesta di armatura: Ast1 (sinistra) e Ast2 (destra)

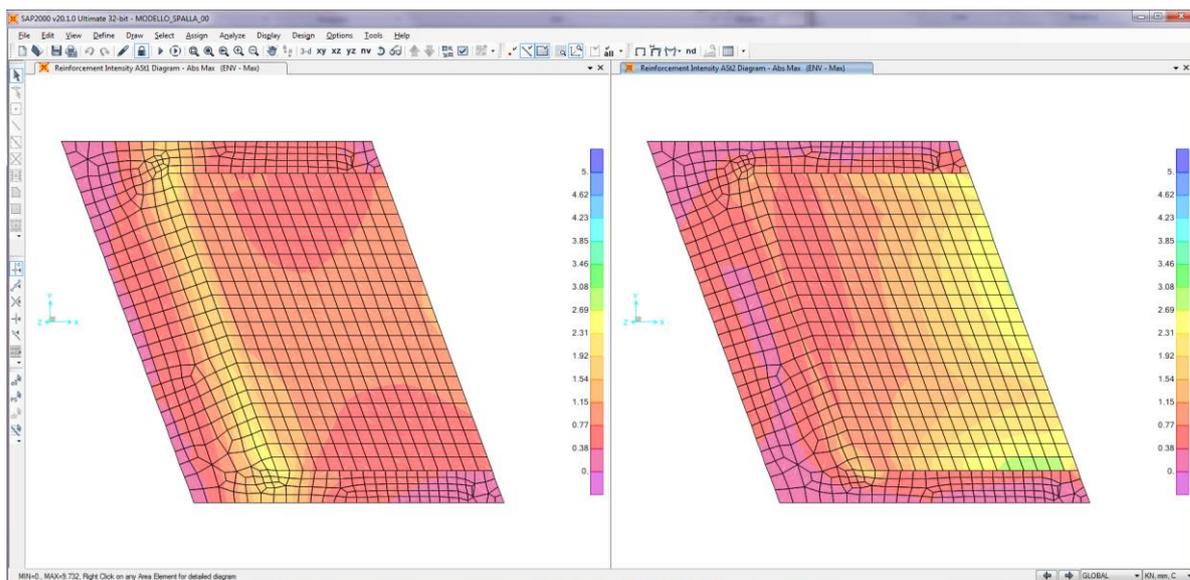


Figura 12-5 – Richiesta di armatura: Ast1 (sinistra) e Ast2 (destra) – dettaglio fondazione

Le richieste di armatura massime sono compatibili con le incidenze indicate negli elaborati e riassunte nella tabella sottostante.

	Ast1			Ast2		
	passo	$\Phi$	Area	passo	$\Phi$	Area
	cm	mm	mm <sup>2</sup> /mm	cm	mm	mm <sup>2</sup> /mm
MURO PARAGHIAIA	10	16	2.01	20	16	1.01
MURO FRONTALE	10	24	4.52	10	20	3.14
MURI ANDATORI	10	24	4.52	10	24	4.52
PLATEA	20	24	2.26	20	24	2.26

### 12.3 Verifica a ribaltamento

Di seguito si riporta la verifica al ribaltamento della spalla, valutato nella direzione longitudinale dell'impalcato, considerando il cinematismo di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

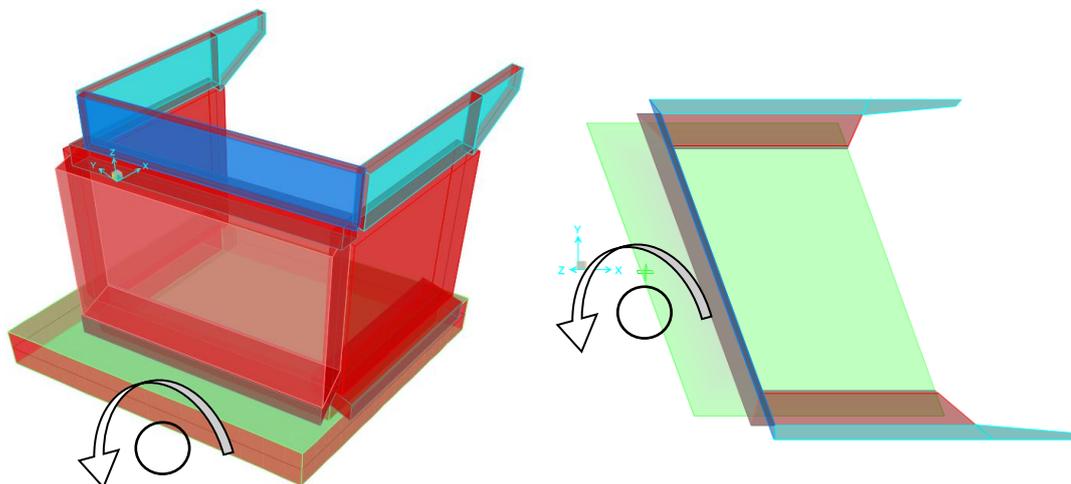


Figura 12-6 – Zattera di fondazione: cinematismo di ribaltamento

Le verifiche, in accordo al paragrafo 6.5.3.1 delle NTC18, sono condotte considerando l'Approccio di tipo 2, con la combinazione (A1+M1+R3), dove si pone  $R3 = 1.15$  per le condizioni SLU e  $R3 = 1$  per le condizioni SLV.

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLU sono:

**VER\_RIB\_C** in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte carico;

**VER\_RIB\_S** in cui si combinano le condizioni stabilizzanti con quelle ribaltanti a ponte scarico.

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
VER_RIB_C	Linear Add	No	Response Combo	EQU_1	1.15
VER_RIB_C			Response Combo	EQU_3	1
VER_RIB_S	Linear Add	No	Response Combo	EQU_2	1.15
VER_RIB_S			Response Combo	EQU_3	1

Le combinazioni di verifica del ribaltamento allo SLV sono descritte nel paragrafo relativo alle combinazioni di carico.

Per la convenzione dei segni utilizzata, le verifiche si intendono soddisfatte quando il segno della reazione vincolare del momento intorno all'asse di ribaltamento risulta negativo.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	SLU_SL1	Combination	9481	-9700	25562	7097	-84827	-26463
1	SLU_SL2	Combination	9412	-8747	25894	3133	-87697	-21224
1	SLU_ST1	Combination	5706	-10882	25018	12575	-108243	-42752
1	SLU_ST2	Combination	5476	-7707	26124	-636	-117807	-25288
1	SLU_V1	Combination	5728	-10020	26107	7905	-113820	-38847
1	SLU_V2	Combination	5659	-9067	26438	3942	-116689	-33608
1	SLU_SL1_V-	Combination	9394	-9486	24962	7136	-82504	-25630
1	SLU_SL2_V-	Combination	9325	-8534	25293	3173	-85373	-20390
1	SLU_ST1_V-	Combination	5619	-10669	24418	12615	-105920	-41919
1	SLU_ST2_V-	Combination	5389	-7493	25524	-596	-115484	-24454
1	SLU_V1_V-	Combination	5436	-9308	24104	8037	-106076	-36068
1	SLU_V2_V-	Combination	5367	-8355	24436	4074	-108945	-30829
1	VER_RIB_C	Combination	10587	-6234	25458	-12156	-84742	4728
1	VER_RIB_S	Combination	9759	-5607	23745	-8450	-89633	2213
1	VER_RIB_V	Combination	8900	-5195	22231	-6770	-93783	-346

I risultati ottenuti, evidenziati in giallo, soddisfano tutti tale condizione.

Sono state lette le varie combinazioni rispetto all'asse di ribaltamento.

In particolare le combinazioni di tipo ribaltante sono state incrementate x 1.15 (paragrafo 6.5.3.1.1 delle NTC18, in osservanza alla Tab. 6.5.I) mentre quelle stabilizzanti sono state assunte unitarie. Il risultato della verifica mostra ulteriori riserve di sicurezza rispetto alle minime imposte.