

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 - COORDINAMENTO TERRITORIALE ADRIATICA

<p>I PROGETTISTI</p> <p>Ing. Alberto SANCHIRICO - Progettista e Coordinatore</p> <p>Ing. Simona MASCIULLO - Progettista</p>	<p>ATTIVITA' DI SUPPORTO</p>    
<p>COLLABORATORI</p> <p>Geom. Andrea DELL'ANNA</p> <p>Geom. Massimo MARTANO</p> <p>Geom. Giuseppe CALO'</p>	
<p>IL GEOLOGO</p> <p>Dott. Pasquale SCORCIA</p>	
<p>IL COORDINATORE IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p>Ing. Alberto SANCHIRICO</p>	
<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p>Ing. Gianfranco PAGLIALUNGA</p>	
<p>RESPONSABILE PROJECT MANAGEMENT PUGLIA</p> <p>Ing. Nicola MARZI</p>	

08 - OPERE D'ARTE MAGGIORI - VIADOTTI E PONTI

Cavalcavia (Comune di Surano)

CV 20 - al km 15+221,59

Relazione di calcolo strutturale

<p>CODICE PROGETTO</p> <p>PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.</p> <p>L0503A D 1701</p>	<p>NOME FILE</p> <p>TOO_CV20_STR_RE01_C</p> <p>CODICE ELAB. T00CV20STRRE01</p>	<p>REVISIONE</p> <p>C</p>	<p>SCALA:</p> <p>-</p>
<p>C</p>	<p>OTTEMPERANZA PARERE AdB Puglia - PARERE CSLLPP</p> <p>Aprile 2019</p>	<p>Ing. D. Neri</p>	
<p>B</p>	<p>REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Gennaio 2019</p>	<p>Ing. C. Beltrami</p>	
<p>A</p>	<p>REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Giugno 2018</p>	<p>Ing. C. Beltrami</p>	
<p>REV.</p>	<p>DESCRIZIONE</p>	<p>DATA</p>	<p>REDDATTO VERIFICATO APPROVATO</p>

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	Urto dei veicoli in svio	17
6.6	Ritiro	18
6.7	Variazioni termiche	18
6.8	Azione sismica	18

6.8.1	Vita nominale	19
6.8.2	Classe d'uso	19
6.8.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	19
6.8.4	Parametri di progetto	19
6.8.5	Categoria di sottosuolo	22
6.8.6	Condizioni topografiche	22
6.8.7	Spettro di risposta elastico in accelerazione	23
6.8.8	Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti orizzontali	23
6.8.9	Spettro di risposta elastico in accelerazione, componenti verticali	25
6.8.10	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 $x = 1,232\text{m}$	44
9.9	Verifica sezione n.10 – ascissa $x = 2,772\text{m}$	46
9.10	Verifica sezione n.34 – ascissa $x = 10,164\text{m}$	48
9.11	Verifica sezione n.51 – ascissa $x = 15,4\text{m}$	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 ₁)	57
9.18 Verifiche del cordolo (Sezione S ₂)	60
9.19 Verifiche a deformazione	62
9.20 Azioni sugli apparecchi di appoggio	63
10. VERIFICHE PILA 1	64
10.1 Verifica Elevazione	64
10.1.1 Verifica SLU-SLV	64
10.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni	66
10.1.3 Verifica SLE – Fessurazione	67
10.2 Verifica fondazione	68
10.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV	69
10.2.2 Verifica a ribaltamento	70
11. VERIFICHE PILA 2	72
11.1 Verifica Elevazione	72
11.1.1 Verifica SLU-SLV	72
11.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni	74
11.1.3 Verifica SLE – Fessurazione	75
11.2 Verifica fondazione	76
11.2.1 Verifiche strutture SLU-SLV	77
11.2.2 Verifica a ribaltamento	78
12. VERIFICA DELLE SPALLE	80
12.1 Modello di calcolo	80
12.2 Verifiche strutture SLU-SLV	82
12.3 Verifica a ribaltamento	84

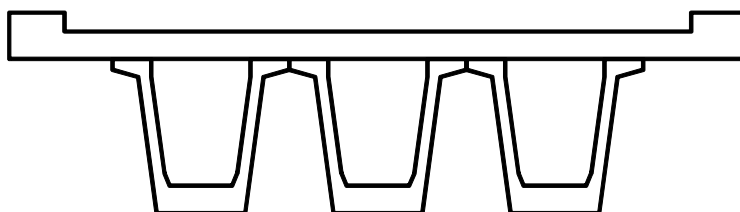
1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i calcoli relativi al ponte stradale CV20 - PRG.15+221.59 Cavalcavia comune di Surano ubicato alla progressiva 15+221.59, nell'ambito dei CORRIDOIO PLURIMODALE ADRIATICO MAGLIE - S.M. DI LEUCA.

L'opera di cui trattasi ha una lunghezza complessiva di 56m suddivisi in 3 campate la cui luce misurata tra gli appoggi per le travi è pari a 12m - 32m - 12m.

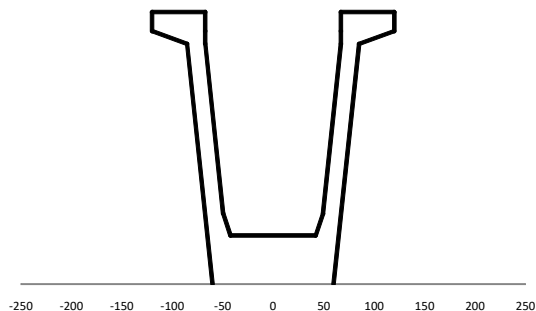
L'impalcato è costituito da 3 travi a cassone in cemento armato precompresso, di altezza 1,4m, disposte ad interasse di 2,4m e da una soletta in c.a. di larghezza complessiva 10m.

La soletta di spessore 25cm presenta una larghezza pavimentata carrabile di 8,5m e due cordoli esterni di larghezza 0,75m e altezza 17cm.

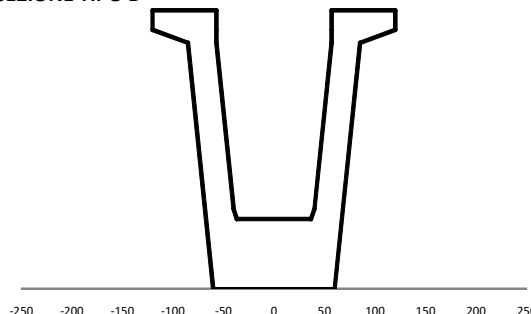


La trave è del tipo a cassone precompresso a fili aderenti e presenta due tipi di sezione: una sezione corrente di tipo A e una sezione ringrossata tipo B in corrispondenza degli appoggi per una lunghezza di 1m. La zona di raccordo tra le due sezioni misura una lunghezza di 1m.

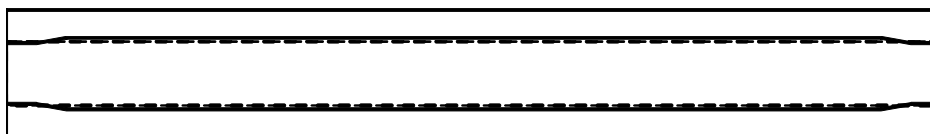
SEZIONE TIPO A



SEZIONE TIPO B



PIANTA



La precompressione della trave avviene per mezzo di 66 Trefoli stabilizzati del diametro di 6/10S¹, 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]	D.M. 17/01/2018, n.8	Norme Tecniche per le costruzioni
[2]	Circ. Min. 21 gennaio 2019, n. 7	Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
[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 ²
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 ²
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 ²

3.1.3 Elevazione pile e spalle

Classe del calcestruzzo		C32/40	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	40	N/mm ²
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 ²

3.1.4 Soletta, cordoli e predalles

Classe del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	45	N/mm ²
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 ²

3.1.5 Trave di impalcato

Classe del calcestruzzo		C45/55	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	55	N/mm ²
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 ²

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

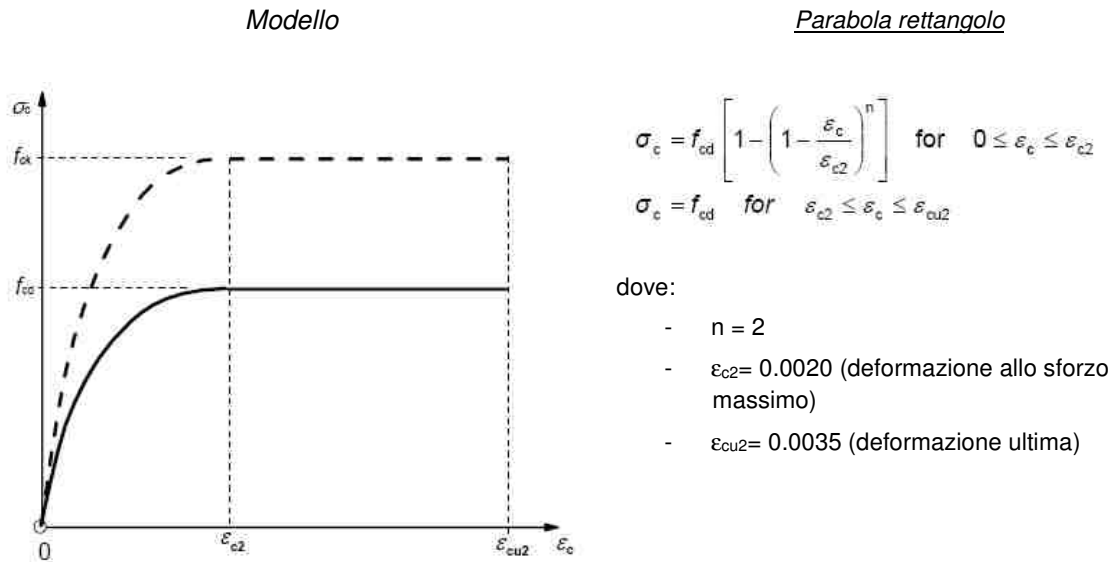
Classe di acciaio		B450	
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540	N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450	N/mm ²
Resistenza di progetto	f_{yd}	391.3	N/mm ²
Sovra-resistenza	f_{tk} / f_{yk}	≥ 1.15	-
Modulo di elasticità	E_s	210000	N/mm ²

3.2.2 Acciaio per armatura di precompressione

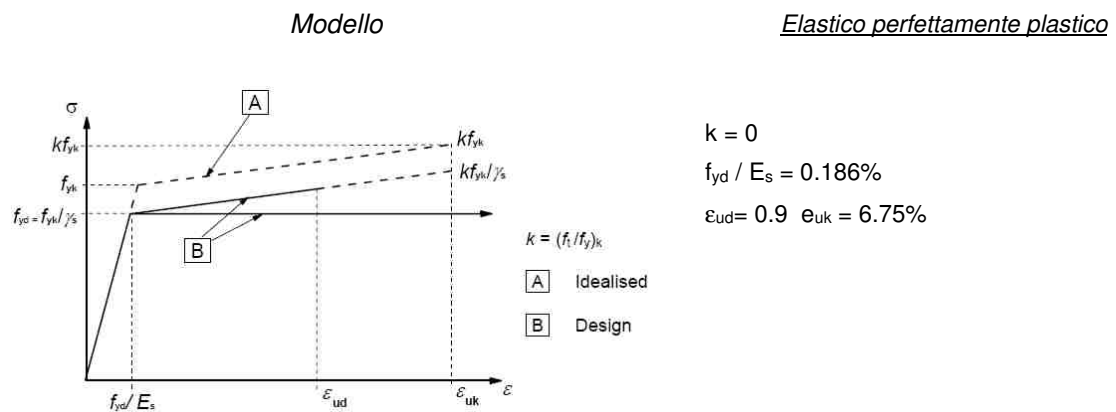
Tensione caratteristica al'1% di deformazione totale	f_{yk}	1670	N/mm ²
Tensione di rottura caratteristica	f_{tk}	1860	N/mm ²
Modulo di elasticità	E_s	206000	N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{y,k} / 1.15$	f_{yd}	1452.2	N/mm ²
Tensione iniziale all'atto tesatura $\sigma_{spi} < 0.90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

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			$f_{y,k} =$	450,0 Mpa
Tensione di rottura caratteristica			$f_{t,k} =$	540,0 Mpa
Modulo elastico E_s			$E_s =$	206000 Mpa
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{y,k}/1.15$	(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			$f_{y,k} =$	1670,0 Mpa
Tensione di rottura caratteristica			$f_{t,k} =$	1860,0 Mpa
Modulo elastico E_s			$E_s =$	206000 Mpa
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd} = f_{y,k}/1.15$	(4.1.5)		$f_{yd} =$	1452,2 Mpa
Tensione iniziale all'atto della tesatura $\sigma_{spi} < 0.90 f_{p(0.1)k}$ $\sigma_{spk} < 0.80 f_{ptk}$	(4.1.49)		$\sigma_{spi} <$	1488,0 Mpa
Tensione massima nell'acciaio per comb. rara $\sigma_{sp} < 0.80 f_{p(0.1)k}$	(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.

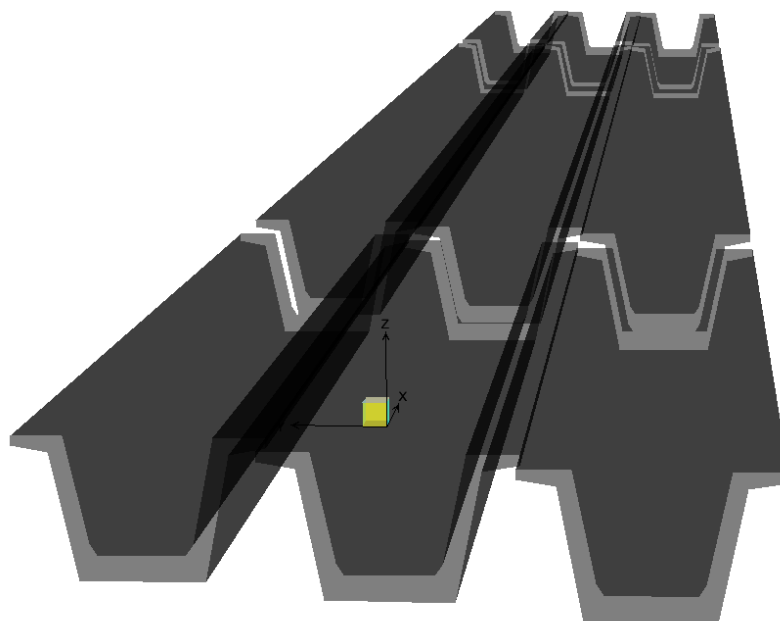


Figura 5-1: Modello di calcolo: dettaglio travi

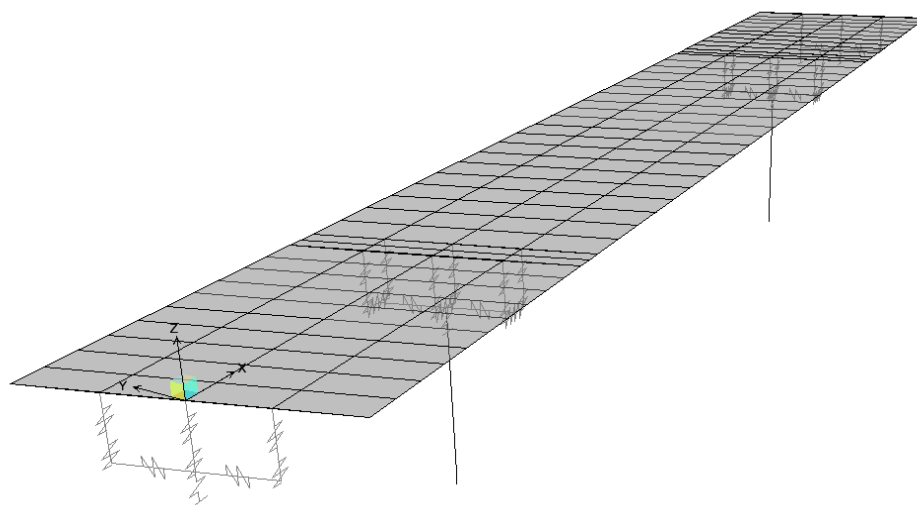


Figura 5-2: Modello di calcolo: con elementi shell soletta in vista

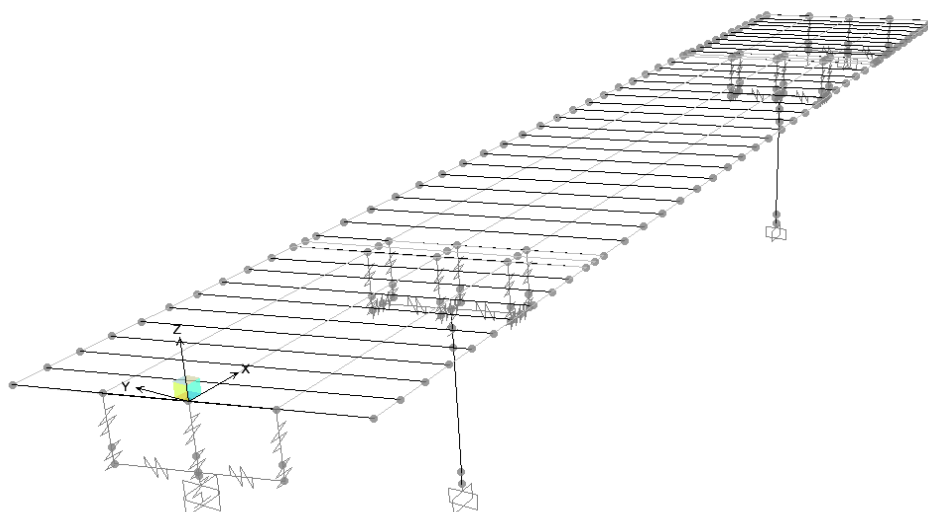


Figura 5-3: Modello di calcolo: con elementi shell soletta non in vista

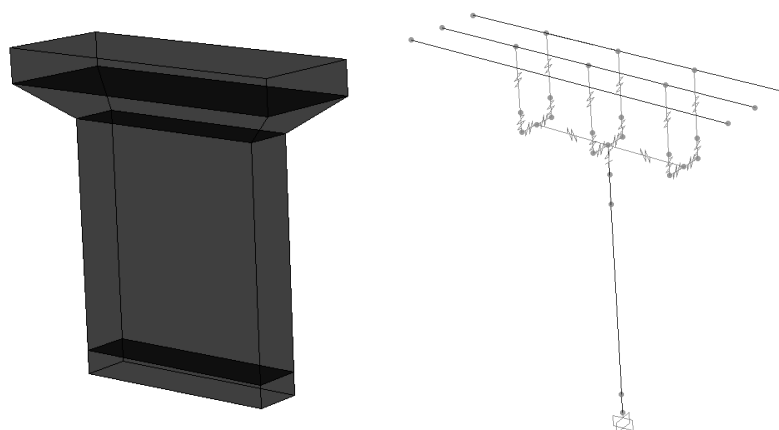


Figura 5-4: Modello di calcolo: dettaglio pila

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

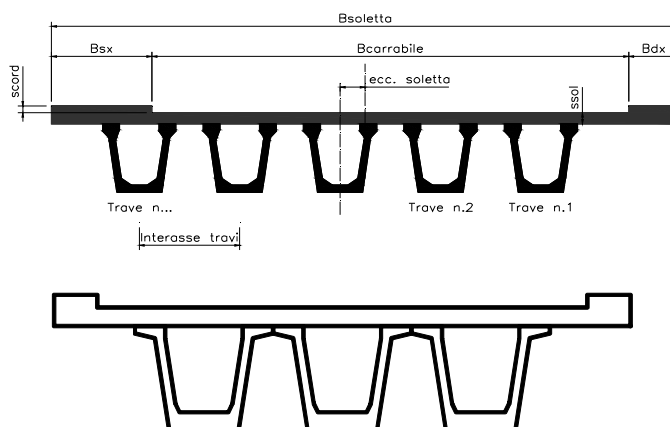
0. Fase – Sono presenti le sole sottostrutture (pile e spalle); Carichi agenti: attrito vincoli. e peso proprio pila
1. Fase - Sezione reagente: Sezione reagente: sole travi; Carichi agenti: pesi propri e getto dei traversi e della soletta fluida.
2. Fase - Sezione reagente: trave con soletta collaborante 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:

B = larghezza soletta =	10.00 m
s = spessore soletta =	0.25 m
Lunghezza campata =	30.8 m
n. travi (max 30) =	3 ▼
Interasse travi =	2.40 m
ecc. asse soletta-asse travi (>0 vs dx) =	0.00 m
Bdx = Larghezza cordolo dx =	0.75 m
Bsx = Larghezza cordolo sx =	0.75 m
scord = Altezza cordolo =	0.17 m
Bcarrabile = Larghezza pavimentazione =	8.50 m
ecc. pavimentazione-soletta (>0 vs dx)=	0.00 m
Brim. = Larghezza non caricata =	2.50 m



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.	21.30 KN/m
Peso proprio soletta in c.a.	21.77 KN/m
Carico permanente <input checked="" type="checkbox"/> Soletta e perm unif. sulle travi	19.23 KN/m

ANALISI DEI CARICHI SULL'IMPALCATO

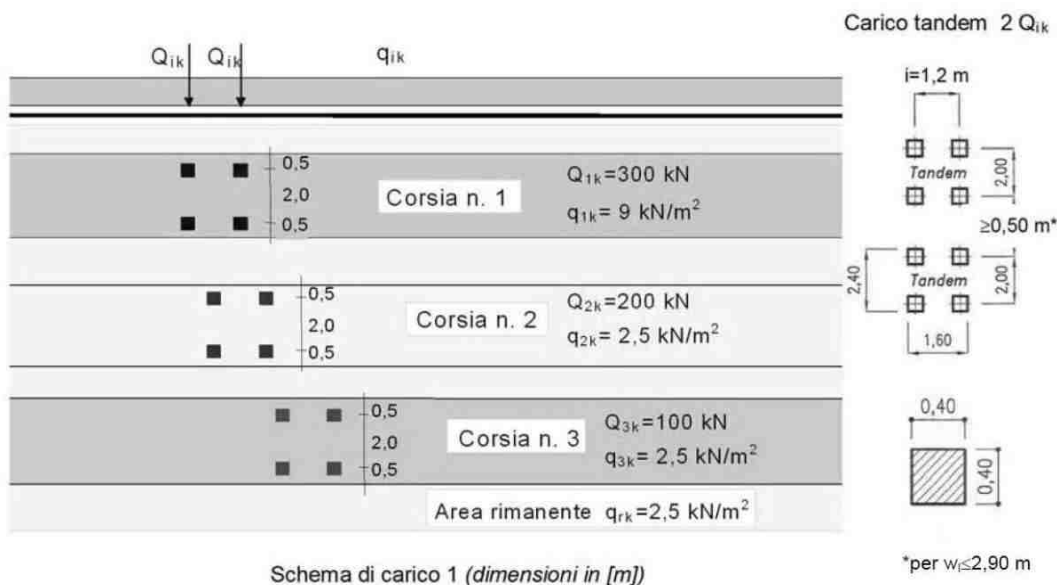
Peso proprio trave in c.a.p.	63.90 KN/m
Peso proprio soletta in c.a.	62.50 KN/m
Peso proprio pavimentazione	4.00 KN/mq
Peso sicurvia	2.50 KN/m
Peso arredi esterni	6.15 KN/m
Larghezza della corsia di carico	3.00 m

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/m²;
- corsia n.2, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 400 kN (automezzo convenzionale Q2k) e 2.5 kN/m² (carico ripartito q2k);
- corsia n.3, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente a 200 kN (automezzo convenzionale Q3k) e 2.5 kN/m² (carico ripartito q3k);
- zona rimanente, occupata da una colonna di carico qRk = 2.5 kN/m² 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.

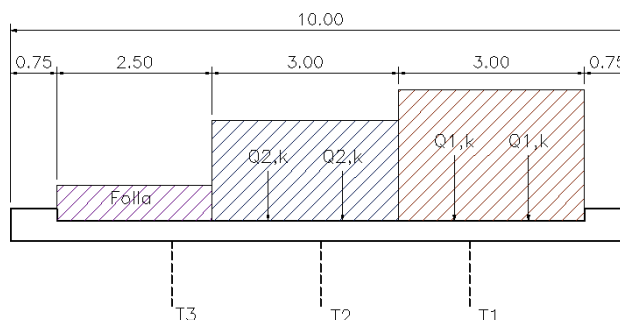


Figura 6-1 – Disposizione eccentrica dei carichi mobili

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 $a_s = 92.0$ [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 3.1 $a_0 = 500$ [m]
 parametri tabella 3.1 $k_a = 0.37$ [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 $q_r = 0.5 \rho v_r^2$ $q_p = 0.46$ [kN/m²]
 $\rho_{aria} = 1.25$ [kg/m³]

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 $per\ z > z_{min}\ c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) (7 + c_t \ln(z/z_0))$ $z_{bar} = 10$ [m]
 $per\ z \leq z_{min}\ c_e(z) = c_e(z_{min})$ $c_e(z) = 2.14$
 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/m²)**

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	$q_3 =$	511	[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 ²]
Lunghezza della zona caricata	$L =$	56.0	[m]

6.5 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.

6.6 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 %	$\epsilon_{cs} = -6.25E-05$		$\beta(\infty) = 0.99968$
$A_c = 6000$ cm ²	$\epsilon_{cd} = -2.93E-04$		$\epsilon_{cd}(\infty) = -2.34E-04$
$u = 480$ cm	$k_N = 0.800$		
$h_0 = 2 A_c / u = 250$ mm	$\epsilon_{cd,\infty} = -2.35E-04$		
		Riduzione per additivi	Ritiro di calcolo
		↓	↓
Deformazione totale da ritiro a $t = \infty$	$\epsilon_{cs}(\infty) = -2.97E-04$	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: $E_{rid} = E_{cm} / (1 + \chi\phi) = 13242 \text{ Mpa}$ $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 34077$

$\chi = 0.80$ $\phi = 1.967$

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

$y_g = 0.929$ $N_{ritiro} = -1415.53 \text{ KN}$
 $e = 0.596$ $M_{ritiro} = 843.79 \text{ KNm}$

TRAVE DA CALCOLARE | TRAVE 1

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.

6.7 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 $\pm 30^\circ\text{C}$.

6.8 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 passa da categoria A a categoria B. Poiché la variazione in termini di PGA è modesta e non dimensionante, l'aggiornamento del calcolo sismico viene demandato al Progetto Esecutivo.

6.8.1 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.

6.8.2 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 $C_U = 2.0$.

6.8.3 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.

6.8.4 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 PVR 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 PVR 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:

6.8.5 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".

6.8.6 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.

6.8.7 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.

6.8.8 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;
- η : 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 ξ (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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

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:

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

6.8.9 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 , η 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

6.8.10 Spettri di progetto in accelerazione

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.087 g
F_{0^*}	2.569
T_C^*	0.485 s
S_S	1.000
C_C	1.000
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.000
η	1.000
T_B	0.162 s
T_C	0.485 s
T_D	1.947 s

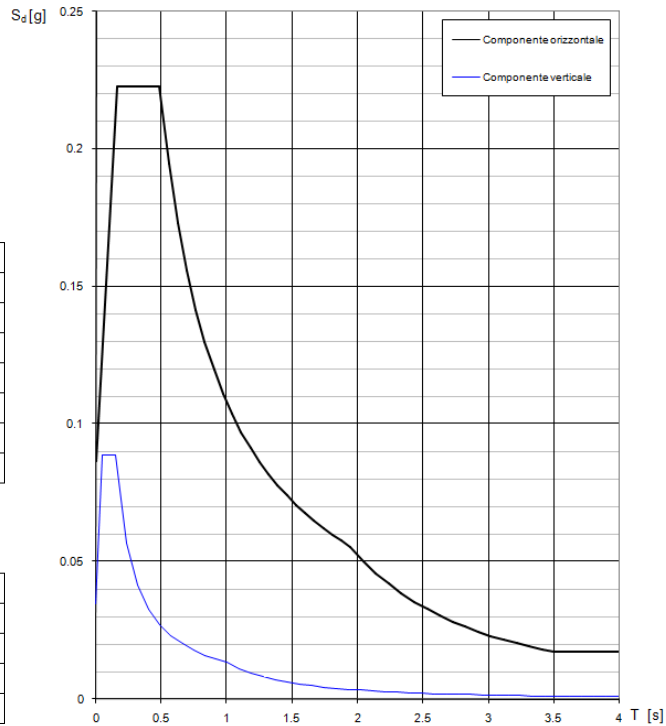


Figura 6-4: Spettri di progetto SLV

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0.115 g
F_{0^*}	2.596
T_C^*	0.519 s
S_S	1.000
C_C	1.000
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.000
η	1.000
T_B	0.173 s
T_C	0.519 s
T_D	2.062 s

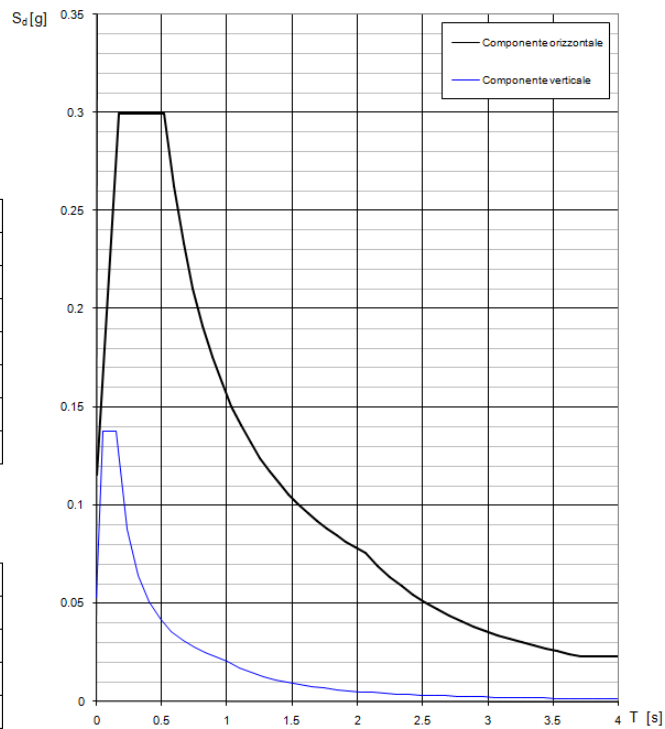


Figura 6-5: Spettri di progetto SLC

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 ²
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²
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:

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

I valori dei coefficienti Ψ_{0j} , Ψ_{1j} e Ψ_{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 ^(a)	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

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

⁽²⁾ 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.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_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 omissi 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 ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{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 γ_{G1} e γ_{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			
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.

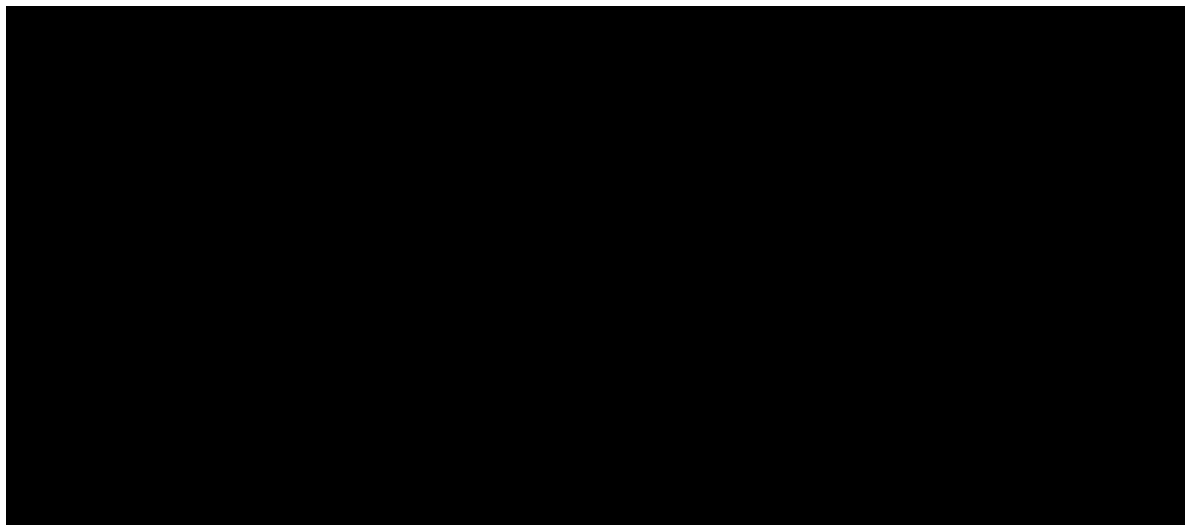
La percentuale di massa eccitata nelle tre direzioni ortogonali è illustrata nella seguente tabella.

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODALE	Acceleration	UX	99.9979	97.3891
MODALE	Acceleration	UY	99.9974	97.2661
MODALE	Acceleration	UZ	99.9998	97.5017

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	0.40	2.48	15.61	243.57
MODALE	Mode	2	0.25	3.98	25.01	625.51
MODALE	Mode	3	0.22	4.45	27.97	782.56
MODALE	Mode	4	0.18	5.70	35.83	1283.59
MODALE	Mode	5	0.13	7.74	48.64	2365.99
MODALE	Mode	6	0.12	8.61	54.07	2923.47
MODALE	Mode	7	0.11	9.10	57.16	3267.83
MODALE	Mode	8	0.10	9.59	60.25	3630.02
MODALE	Mode	9	0.10	10.37	65.15	4244.07
MODALE	Mode	10	0.09	10.91	68.56	4700.02
MODALE	Mode	11	0.09	11.20	70.37	4951.57
MODALE	Mode	12	0.08	12.87	80.85	6537.40
MODALE	Mode	13	0.08	12.97	81.51	6643.15
MODALE	Mode	14	0.07	13.79	86.64	7505.98
MODALE	Mode	15	0.07	14.56	91.51	8374.49
MODALE	Mode	16	0.07	14.63	91.93	8450.54
MODALE	Mode	17	0.06	16.19	101.72	10346.10
MODALE	Mode	18	0.06	16.56	104.05	10827.42
MODALE	Mode	19	0.06	17.06	107.20	11491.51
MODALE	Mode	20	0.06	17.46	109.70	12034.37

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



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

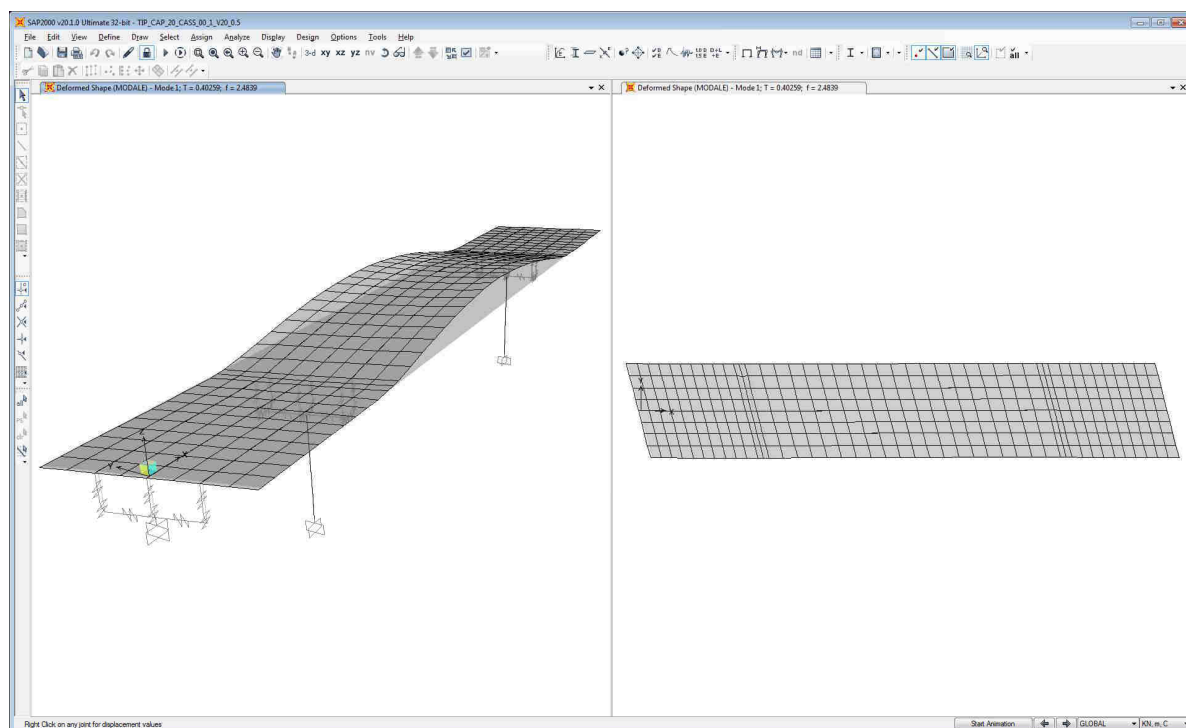


Figura 8-1: Deformata modale modo n°1

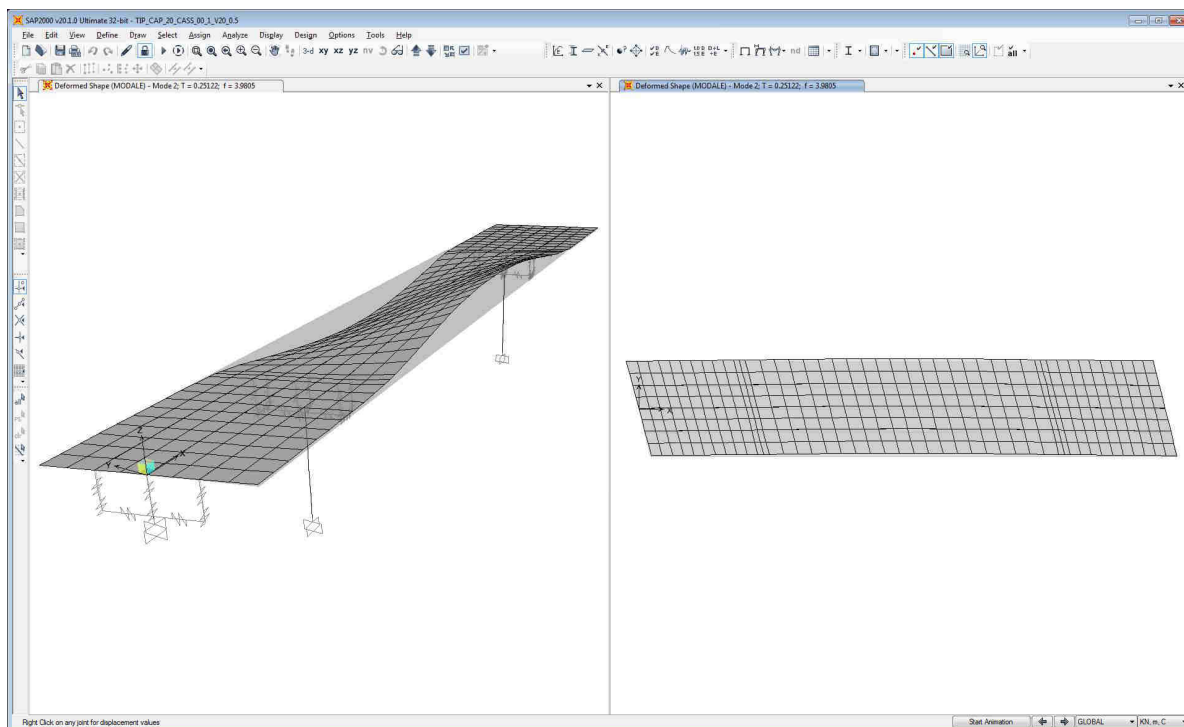
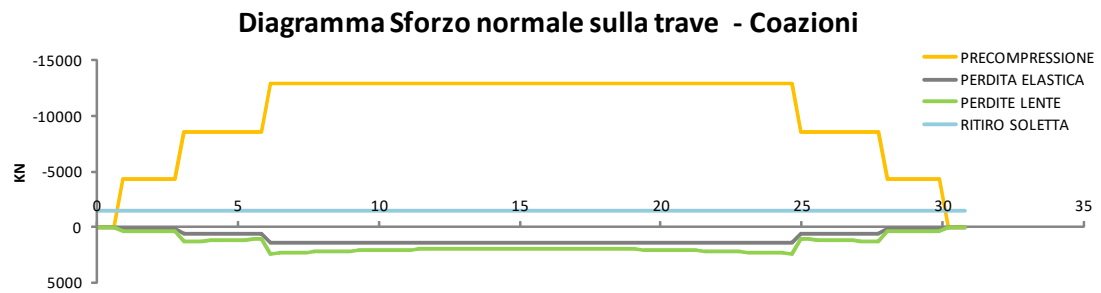
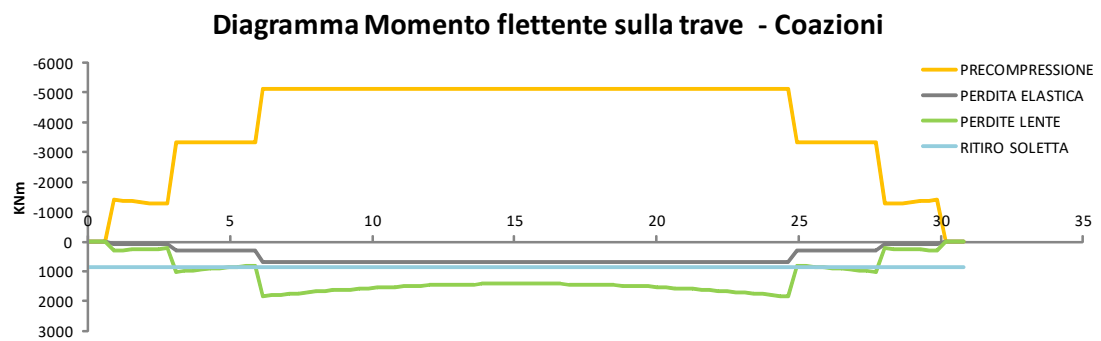
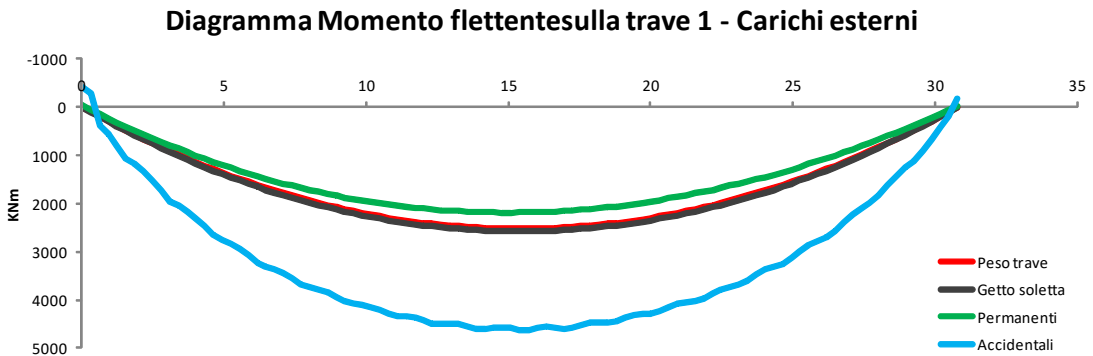
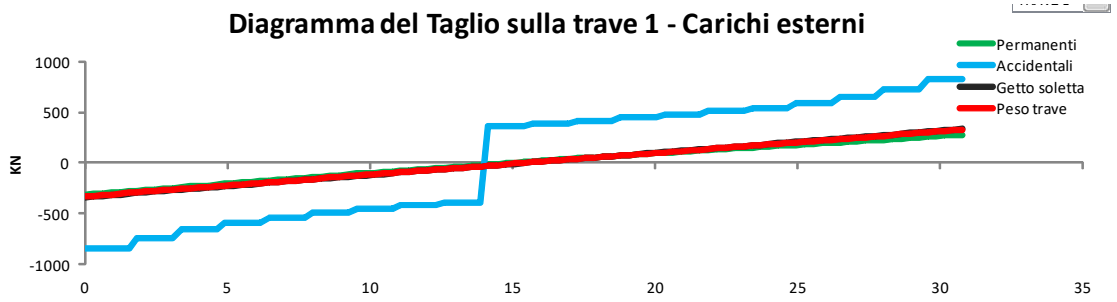


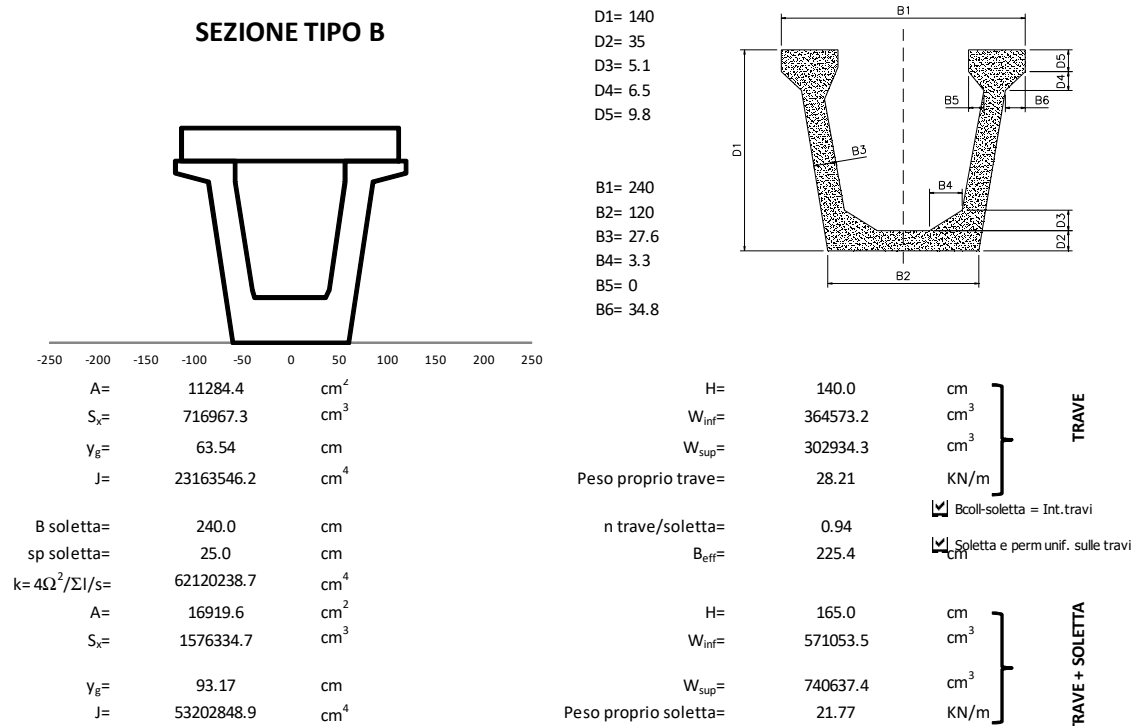
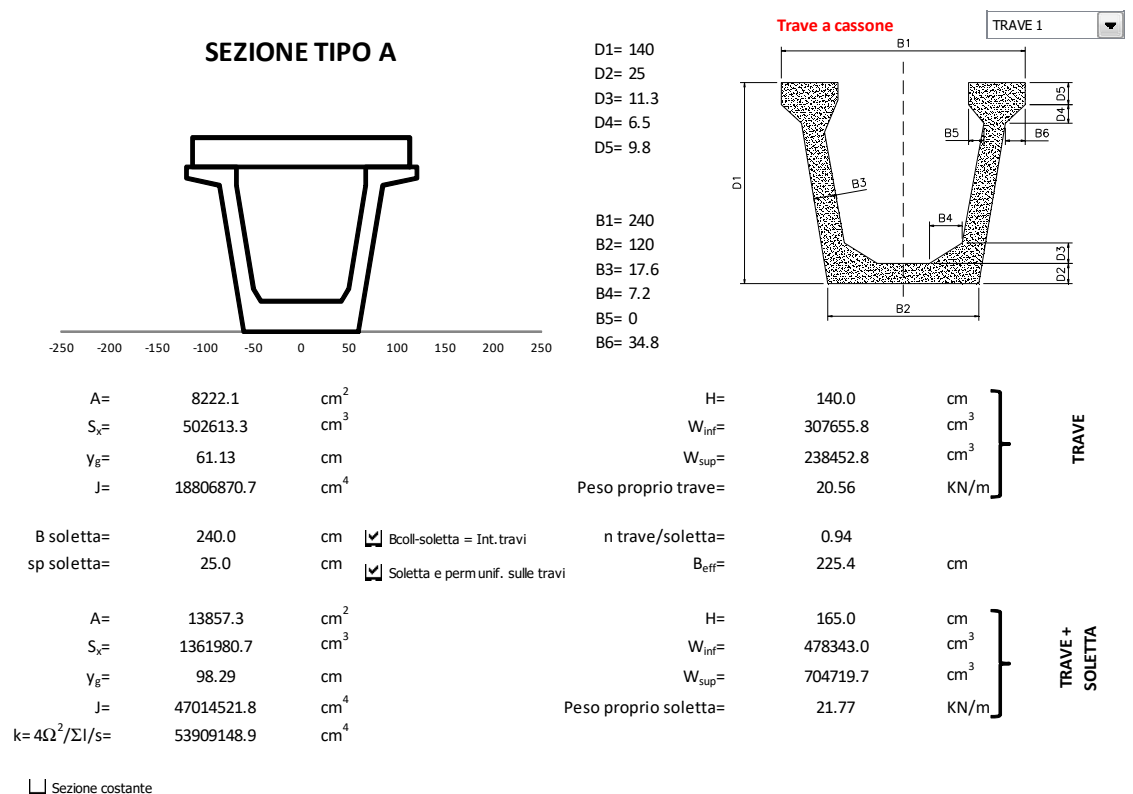
Figura 8-2: Deformata modale modo n°2

8.2 DIAGRAMMI SOLLECITAZIONI



9. VERIFICHE IMPALCATO

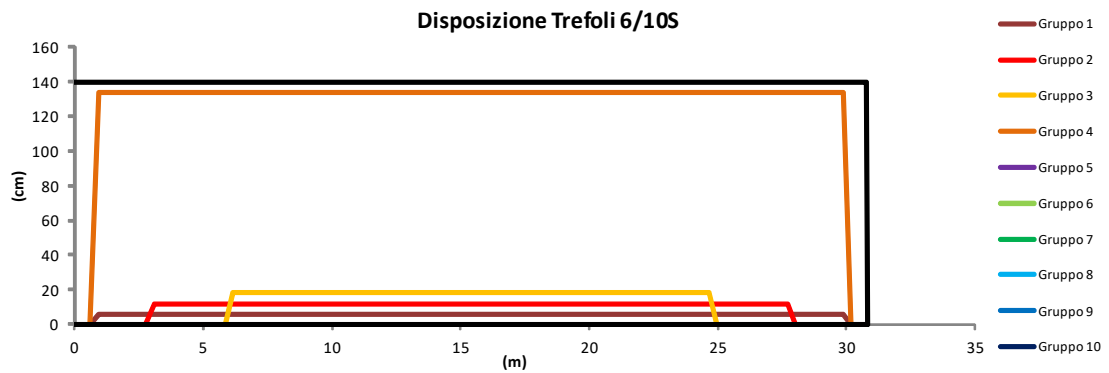
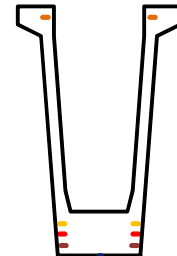
9.1 Caratteristiche trave in c.a.p.



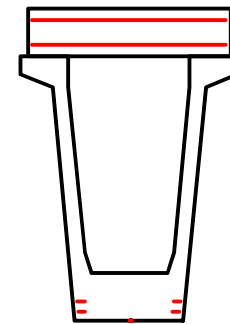
9.2 Precompressione e armatura lenta

Tensione limite iniziale 1488.0 Mpa diametro Trefoli 6/10S 13.8 mm
 Tensione di tesatura iniziale 1300.0 Mpa area Trefoli 6/10S 150.0 mmq
 Lunghezza di trasferimento della precompressione 0.90 m

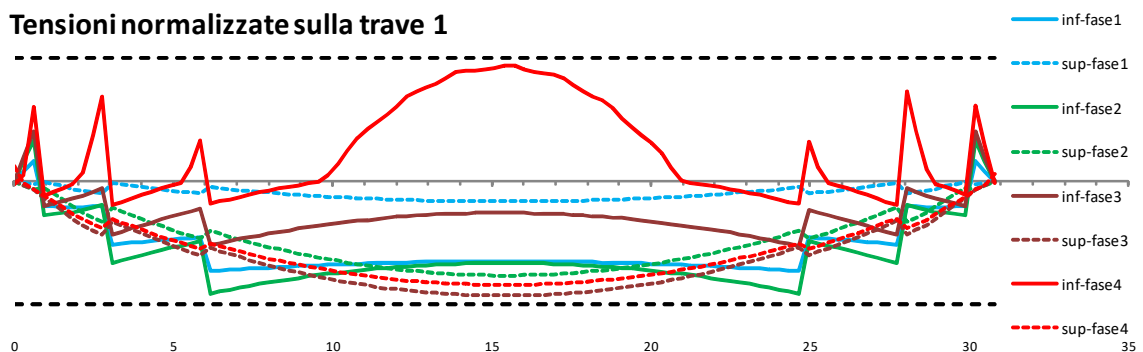
Disposizione Trefoli 6/10S							
	n.	y (cm)	A _{tot} (mmq)	L _{eff} (m)	σ _{spl} (Mpa)	N _{prec} (KN)	M _{prec} (KNm)
gruppo 1	18	6	2700	0.90	1300.0	-3510	-1935.0
gruppo 2	22	12	3300	2.90	1300.0	-4290	-2107.7
gruppo 3	22	18	3300	5.90	1300.0	-4290	-1850.3
gruppo 4	4	134	600	0.90	1300.0	-780	568.4



Disposizione armature lente					
	n.	y (cm)	φ (mm)	A _{tot} (mmq)	x0 (m)
gruppo 1	12	5	16	2412.7	0.0
gruppo 2	10	10	16	2010.6	0.0
Armatura lenta nella trave					
gruppo 11	22	146	12	2488.1	0.0
gruppo 12	22	159	12	2488.1	0.0
Armatura lenta in soletta					



Tensioni normalizzate sulla trave 1



9.3 Perdite differite nel tempo

RITIRO 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 ²
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
	$\epsilon_{c0} =$	-2.61E-04
	$k_{fr} =$	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
Deformazione totale da ritiro a $t = \infty$	$\epsilon_{cs}(\infty) =$	-2.97E-04

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 ϵ_{c0}

h_0 (mm)	k_{fr}
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥500	0,70

Tabella 11.2.Vb - Valori di k_{fr}

Riduzione per additivi

Ritiro di calcolo

↓

↓

60%

-1.78E-04

VISCOSITA'

Coeff. di viscosità a $t = \infty$ $\phi(\infty, t_s) =$ 1.973

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

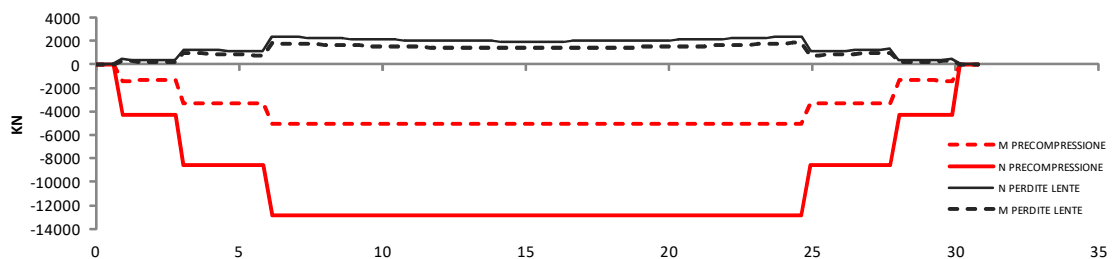
CADUTE DI TENSIONE PER RILASSAMENTO

Tensione iniziale nel cavo	$\sigma_{spi} =$	1300.0 Mpa
Resistenza caratteristica dell'acciaio da precompressione	$f_{pk} =$	1670.0 Mpa
Perdita percentuale per rilass. a 1000 ore, a 20°C e con $\sigma_{spi} = 0.7 f_p$	$\rho_{1000} =$	2.50 Mpa
	$\mu = \sigma_{spi} / f_{pk} =$	0.778
Tempo dalla messa in tensione	$t =$	500000 ore


$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 5,39 \rho_{1000} e^{6,7\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$	Trecce, fili, trefoli ordinari a normale rilassamento
$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,1\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$	Trecce, fili, trefoli stabilizzati a basso rilassamento
$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 1,98 \rho_{1000} e^{8,0\mu} (t/1000)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$	Barre laminate

Nel nostro caso trattandosi di: Trefoli stabilizzati	$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} =$	0.055
Caduta di tensione per rilassamento al tempo $t = 500000$ ore	$\Delta\sigma_{pr} =$	71.84 Mpa

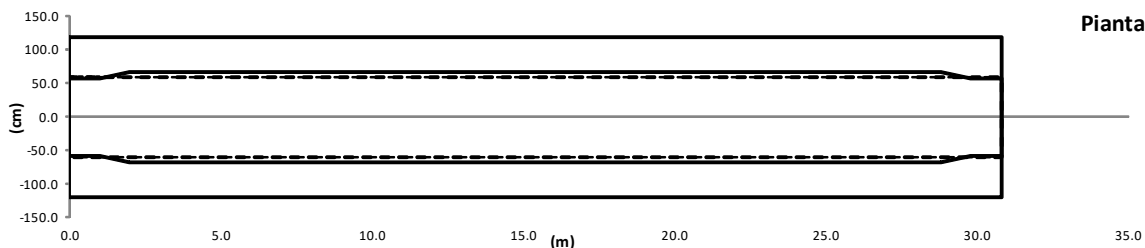
Diagramma M/N sulla trave 1 - Precompressione e perdite



9.4 Caratteristiche sezioni di verifica

L = Lunghezza trave = 30.8 m  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)
TIPO BB	0.00	1.00
TIPO BA	1.00	2.00
TIPO AA	2.00	28.80
TIPO AB	28.80	29.80
TIPO BB	29.80	30.80

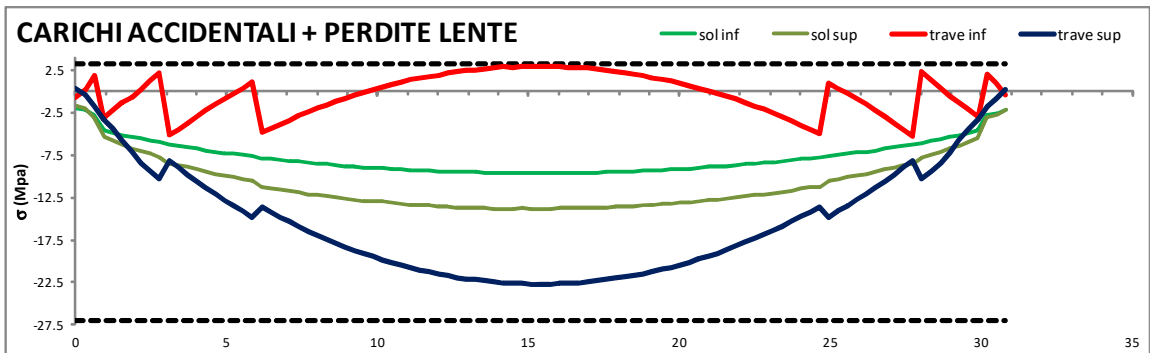
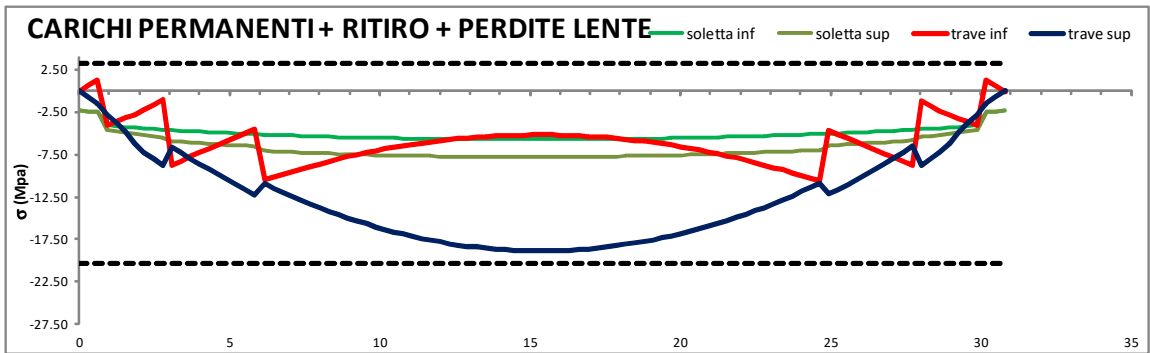
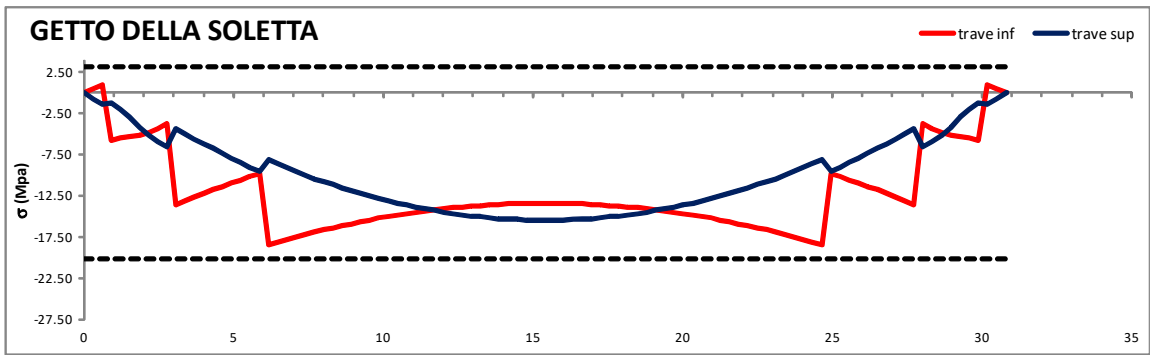
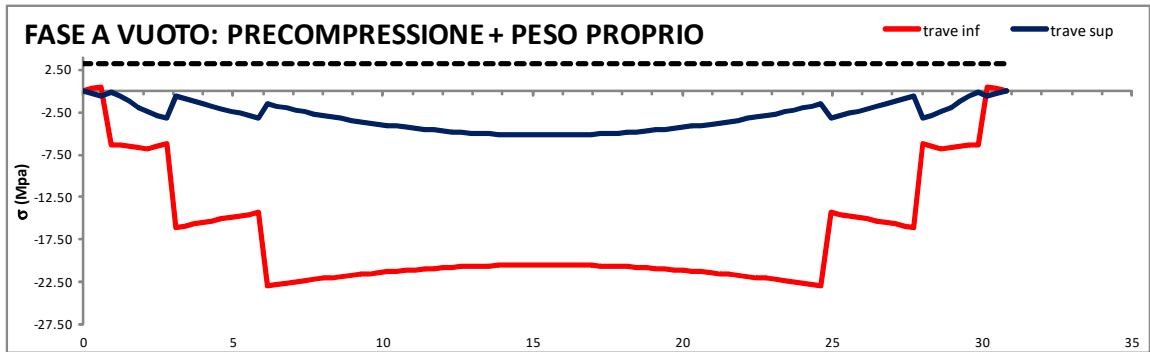


		TRAVE + ARMATURE							
x(m)	Tipo	x(m)	Tipo	x(m)	A _{id} (cm ²)	J _{id} (cm ⁴)	y _g (cm)	W _{inf} (cm ³)	W _{sup} (cm ³)
0.00	BB	7.70	AA	0.00	11535.6	23942832	62.3	384246	-308189
0.31	BB	8.01	AA	1.54	10110.8	22307898	60.2	370456	-279609
0.62	BB	8.32	AA	3.08	8848.0	20542894	57.9	354885	-250175
0.92	BB	8.62	AA	4.62	8848.0	20542894	57.9	354885	-250175
1.23	BA	8.93	AA	6.16	9035.3	20834804	57.1	365146	-251200
1.54	BA	9.24	AA	7.70	9035.3	20834804	57.1	365146	-251200
1.85	BA	9.55	AA	9.24	9035.3	20834804	57.1	365146	-251200
2.16	AA	9.86	AA	10.78	9035.3	20834804	57.1	365146	-251200
2.46	AA	10.16	AA	12.32	9035.3	20834804	57.1	365146	-251200
2.77	AA	10.47	AA	13.86	9035.3	20834804	57.1	365146	-251200
3.08	AA	10.78	AA	15.40	9035.3	20834804	57.1	365146	-251200
3.39	AA	11.09	AA						
3.70	AA	11.40	AA						

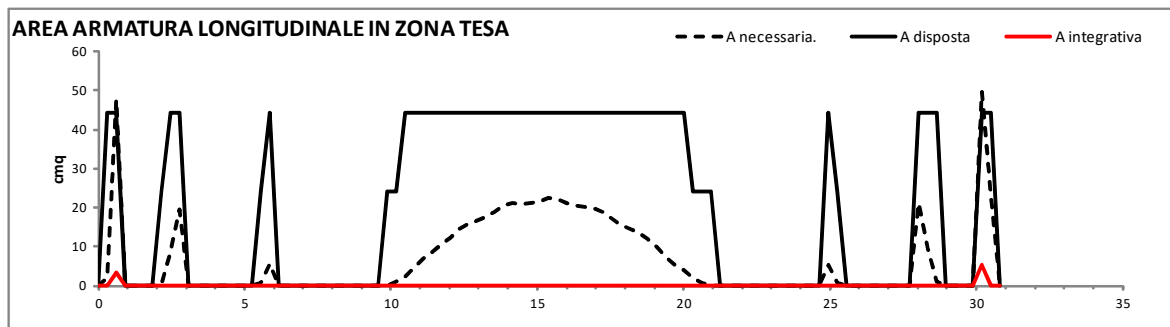
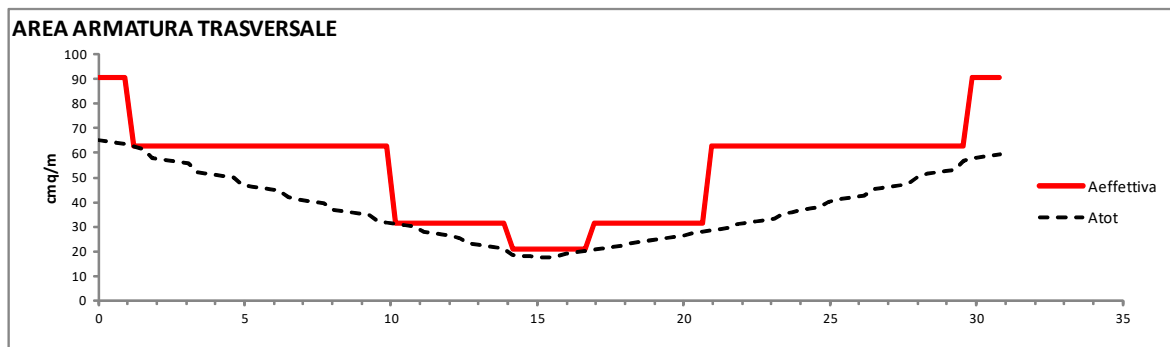
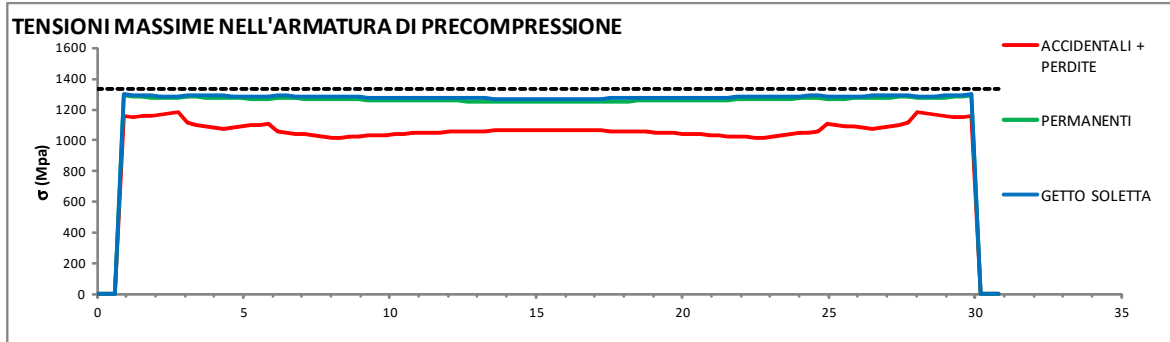
		TRAVE + SOLETTA + ARMATURE								
x(m)	Tipo	x(m)	Tipo	x(m)	A _{id} (cm ²)	J _{id} (cm ⁴)	y _g (cm)	W _{inf} (cm ³)	W _{sup} (cm ³)	W _{supsol} (cm ³)
4.00	AA	11.70	AA	0.00	17453.3	56062561	92.9	603533	-1190052	-777466
4.31	AA	12.01	AA	1.54	16028.6	54403113	94.3	576989	-1190128	-769362
4.62	AA	12.32	AA	3.08	14765.7	52591885	95.8	548947	-1189996	-760053
4.93	AA	12.63	AA	4.62	14765.7	52591885	95.8	548947	-1189996	-760053
5.24	AA	12.94	AA	6.16	14953.0	53711899	94.8	566401	-1189108	-765455
5.54	AA	13.24	AA	7.70	14953.0	53711899	94.8	566401	-1189108	-765455
5.85	AA	13.55	AA	9.24	14953.0	53711899	94.8	566401	-1189108	-765455
6.16	AA	13.86	AA	10.78	14953.0	53711899	94.8	566401	-1189108	-765455
6.47	AA	14.17	AA	12.32	14953.0	53711899	94.8	566401	-1189108	-765455
6.78	AA	14.48	AA	13.86	14953.0	53711899	94.8	566401	-1189108	-765455
7.08	AA	14.78	AA	15.40	14953.0	53711899	94.8	566401	-1189108	-765455
7.39	AA	15.09	AA							

9.5 Diagramma tensioni sulla trave n.1

Effetto della precompressione



9.6 Diagramma tensioni/aree armature trave n.1



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

Effetto della precompressione

Ascissa di verifica

Elemento di verifica 1

N. Gruppi Trefoli attivi 0

σ_{spi} Tensione di tesatura = 1300.0 Mpa

Tensioni dopo le perdite elastiche

Nprec. alla tesatura 0.0 KN

Mprec. alla tesatura 0.0 KNm

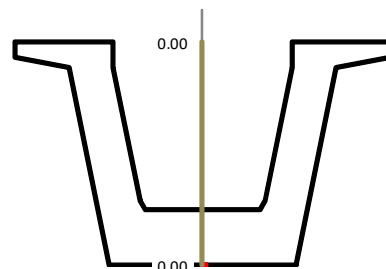
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$ 0.0 KN

$\Delta M_{perdite\ elastiche}$ 0.0 KNm

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} 0.00 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.00 Mpa

n.totale Trefoli = 0



FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

N_0 0.0 KN

M_0 0.0 KNm

A_{id} 1.1536 mq

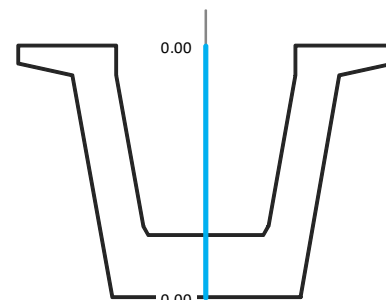
S_{id} 0.7188 mc

y_{bar} 62.31 cm

J_{id} 0.2394 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} 0.00 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.00 Mpa



GETTO DELLA SOLETTA

N_1 0.0 KN

M_1 0.0 KNm

A_{id} 1.1536 mq

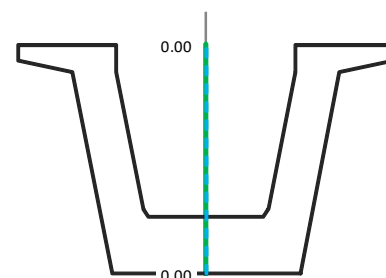
S_{id} 0.7188 mc

y_{bar} 62.31 cm

J_{id} 0.2394 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} 0.00 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.00 Mpa



CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

N_2 0.0 KN ΔP 0.0 KN

M_2 -43.6 KNm ΔMp 0.0 KNm

A_{id} 1.7453 mq

S_{id} 1.6212 mc

y_{bar} 92.89 cm

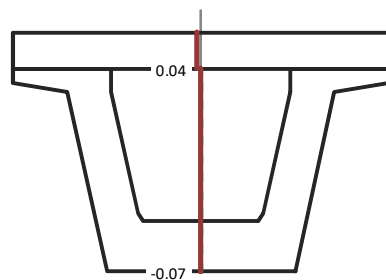
J_{id} 0.5606 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -0.07 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.04 Mpa

Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} -2.32 Mpa

Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} -2.30 Mpa



CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

N_3 0.0 KN ΔP 0.0 KN

M_3 -418.2 KNm ΔMp 0.0 KNm

A_{id} 1.7453 mq

S_{id} 1.6212 mc

y_{bar} 92.89 cm

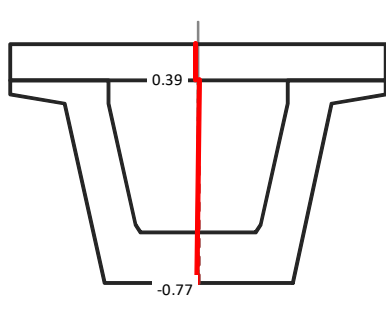
J_{id} 0.5606 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -0.77 Mpa

Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 0.39 Mpa

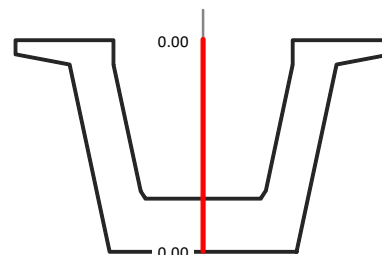
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} -1.97 Mpa

Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} -1.77 Mpa



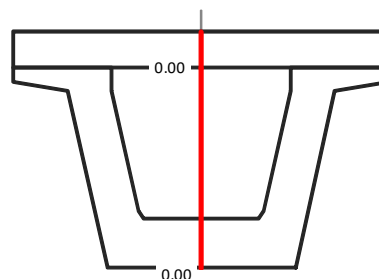
PERDITE ELASTICHE

σ_{p0}	$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN) = 0.0
		ΔM (KNm) = 0.0
		σ_{inf} = 0.00
		σ_{sup} = 0.00



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

σ_{p0}	$\Delta\sigma_{p00}$	ΔN (KN) = 0.0
		ΔM (KNm) = 0.0
		σ_{inf} = 0.00
		σ_{sup} = 0.00
		σ_{sg} = 0.00
		σ_{ss} = 0.00



TENSIONI ARMATURA LENTA

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	0.0	0.0
GETTO DELLA SOLETTA	0.0	0.0
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	0.3	-0.4
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	3.1	-4.1

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	0.0	0.0
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

$V_{Ed} = 2625.1$ 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	$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	53.25 cm ² /m
$f_{ctd} =$	1.77 Mpa	$A_{sl} =$	94.0 cm ²	Staffe disposte 4 br. f12/5	84.51 cm ² /m
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d =$	0.011	$V_{Rsd} =$	4419.6 KN
$d =$	148.5 cm	$\gamma_c =$	1.5	$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) =$	4419.6 KN
$b_w =$	56.3 cm	$V_{Rd} =$	507.4 KN	$V_{Rd} > V_{Ed} =$	La verifica è soddisfatta

VERIFICA A TORSIONE - SLU

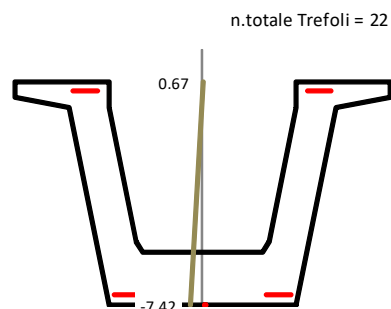
$Mt_{Ed} = 797.5$ KNm		Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
Armatura trasversali		$f'_{cd} =$	12.75 Mpa	$u_m =$	5284.8 mm
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$t =$	276 mm	$A_{minima} =$	31.54 cm ²
$\theta =$	45 °	$\Omega =$	1707281 mm ²		
$\Omega =$	1707281 mm ²	$T_{Rcd} =$	6007.9 KNm		
$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	5.97 cm ² /m				
$T_{Rsd} =$	797.5 KNm				

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

$V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$	0.680	La verifica è soddisfatta
--------------------------------------	--------------	----------------------------------

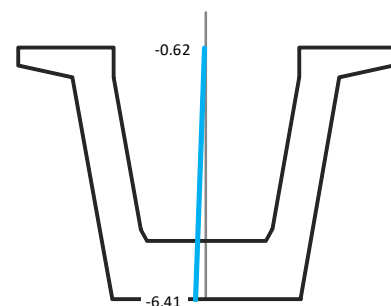
9.8 Verifica sezione n.5 – ascissa x = 1,232m

Effetto della precompressione Favorevole	σ^1 1258.5
Ascissa di verifica	1.23 m
Elemento di verifica	5
N. Gruppi Trefoli attivi	2
σ_{spi} Tensione di tesatura =	1300.0 Mpa
<u>Tensioni dopo le perdite elastiche</u>	
Nprec. alla tesatura	-4290.0 KN
Mprec. alla tesatura	-1389.5 KNm
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$	110.7 KN
$\Delta M_{perdite\ elastiche}$	62.8 KNm
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-7.42 Mpa
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	0.67 Mpa



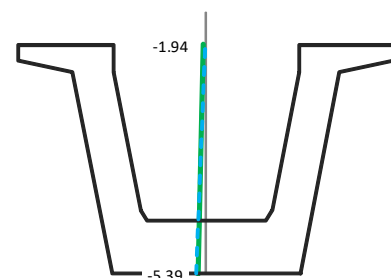
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

N_0	-4290.0 KN	
M_0	-1001.9 KNm	
A_{id}	1.1042 mq	
S_{id}	0.6748 mc	
y_{bar}	61.11 cm	
J_{id}	0.2365 m ⁴	
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-6.41 Mpa	
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-0.62 Mpa	



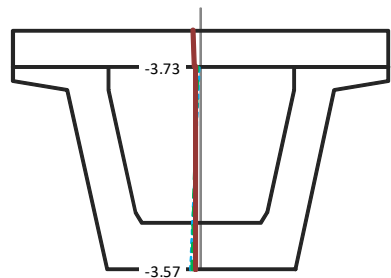
GETTO DELLA SOLETTA

N_1	0.0 KN	
M_1	396.5 KNm	
A_{id}	1.1042 mq	
S_{id}	0.6748 mc	
y_{bar}	61.11 cm	
J_{id}	0.2365 m ⁴	
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-5.39 Mpa	
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-1.94 Mpa	



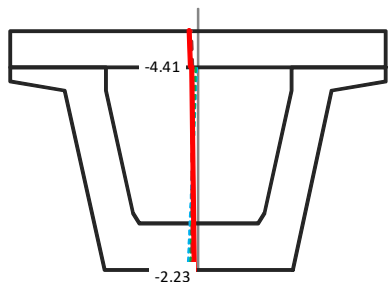
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

N_2	-1415.5 KN	ΔP	437.7	KN
M_2	1166.8 KNm	ΔMp	277.4	KNm
A_{id}	1.6960 mq			
S_{id}	1.5773 mc			
y_{bar}	93.00 cm			
J_{id}	0.5613 m ⁴			
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-3.57 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-3.73 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is}	-4.15 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss}	-4.79 Mpa			



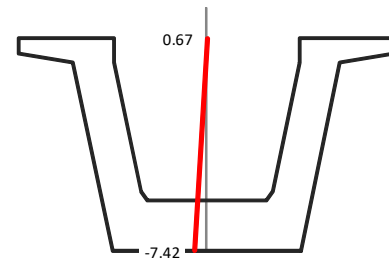
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

N_3	0.0 KN	ΔP	437.7	KN
M_3	812.2 KNm	ΔMp	277.4	KNm
A_{id}	1.6960 mq			
S_{id}	1.5773 mc			
y_{bar}	93.00 cm			
J_{id}	0.5613 m ⁴			
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-2.23 Mpa			
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-4.41 Mpa			
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is}	-4.83 Mpa			
Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss}	-5.83 Mpa			



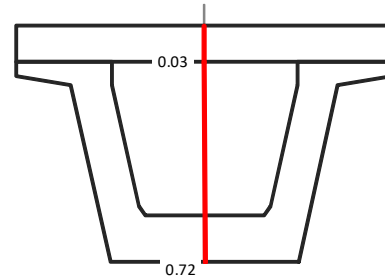
PERDITE ELASTICHE

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN)= 110.7
gruppo 1	1300.0	-->	-41.5	ΔM (KNm)= 62.8
				$\sigma_{inf} = -7.42$
				$\sigma_{sup} = 0.67$
gruppo 4	1300.0	-->	2.4	



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN)= 437.7
gruppo 1	1258.5	-->	-132.2	ΔM (KNm)= 277.4
				$\sigma_{inf} = 0.72$
				$\sigma_{sup} = 0.03$
gruppo 4	1302.4	-->	-134.7	$\sigma_g = 0.03$
				$\sigma_{ss} = -0.10$



TENSIONI ARMATURA LENTA

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-34.1	-35.2
GETTO DELLA SOLETTA	-29.2	-29.9
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-11.0	-20.3
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	-13.1	-18.3

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1302.4	1258.5
GETTO DELLA SOLETTA	1295.4	1263.7
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1285.9	1141.0
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1282.5	1148.1

VERIFICA A TAGLIO - SLU

$V_{Ed} =$	2517.9 KN	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO	
$f_{ck} =$	45.00 Mpa	$v_{min} =$	0.375 Mpa
$f_{cd} =$	25.50 Mpa	$\sigma_{cp} =$	3.885 Mpa
$f'_{cd} =$	12.75 Mpa	$k =$	1.367
$f_{ctd} =$	1.77 Mpa	$A_{sl} =$	94.0 cm ²
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d =$	0.012
$d =$	148.5 cm	$\gamma_c =$	1.5
$b_w =$	51.6 cm	$V_{Rd} =$	925.1 KN

ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO	
$\alpha_{cc} =$	1.152
$V_{Rcd} =$	5066.1 KN
$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	50.96 cm ² /m
Staffe disposte 4 br. f10/5	57.01 cm ² /m
$V_{Rsd} =$	2981.6 KN
$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) =$	2981.6 KN
$V_{Rd} > V_{Ed} =$	La verifica è soddisfatta

VERIFICA A TORSIONE - SLU

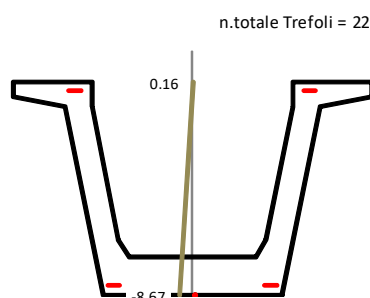
$M_{tEd} =$	797.5 KNm	Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
Armatura trasversali		$f'_{cd} =$	12.75 Mpa	$u_m =$	5351.1 mm
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$t =$	252.8 mm	$A_{minima} =$	31.14 cm ²
$\theta =$	45 °	$\Omega =$	1750972 mm ²		
$\Omega =$	1750972 mm ²				
$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	5.82 cm ² /m	$T_{Rcd} =$	5643.7 KNm		
$T_{Rsd} =$	797.5 KNm				

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

$V_{Ed}/V_{Rcd} + M_{tEd}/T_{Rcd} =$	0.638	La verifica è soddisfatta
--------------------------------------	--------------	----------------------------------

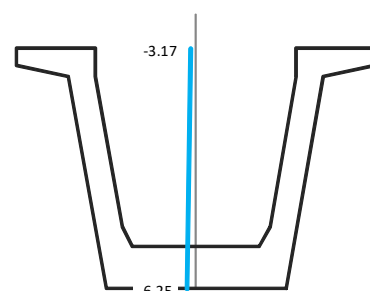
9.9 Verifica sezione n.10 – ascissa x = 2,772m

Effetto della precompressione Favorevole	σ_1	1251.0
Ascissa di verifica	2.77 m	
Elemento di verifica	10	
N. Gruppi Trefoli attivi	2	σ_4 1299.4
σ_{spi} Tensione di tesatura =	1300.0 Mpa	
Tensioni dopo le perdite elastiche		
Nprec. alla tesatura	-4290.0 KN	
Mprec. alla tesatura	-1298.2 KNm	
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$	132.6 KN	
$\Delta M_{perdite\ elastiche}$	69.6 KNm	
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-8.67 Mpa	
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	0.16 Mpa	



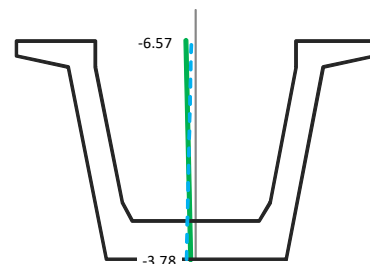
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

N_0	-4290.0 KN	
M_0	-471.5 KNm	
A_{id}	0.8661 mq	
S_{id}	0.5099 mc	
y_{bar}	58.88 cm	
J_{id}	0.2014 m ⁴	
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-6.25 Mpa	
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-3.17 Mpa	



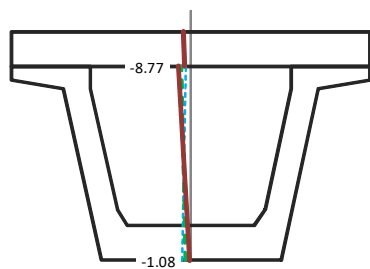
GETTO DELLA SOLETTA

N_1	0.0 KN	
M_1	845.7 KNm	
A_{id}	0.8661 mq	
S_{id}	0.5099 mc	
y_{bar}	58.88 cm	
J_{id}	0.2014 m ⁴	
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-3.78 Mpa	
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-6.57 Mpa	



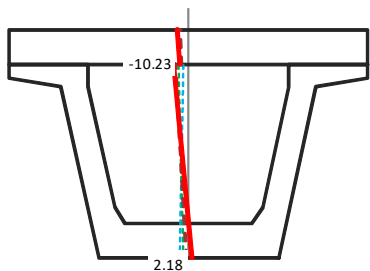
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

N_2	-1415.5 KN	ΔP	404.6 KN
M_2	1568.5 KNm	ΔMp	223.8 KNm
A_{id}	1.4578 mq		
S_{id}	1.4124 mc		
y_{bar}	96.88 cm		
J_{id}	0.5126 m ⁴		
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-1.08 Mpa		
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-8.77 Mpa		
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is}	-4.56 Mpa		
Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss}	-5.43 Mpa		



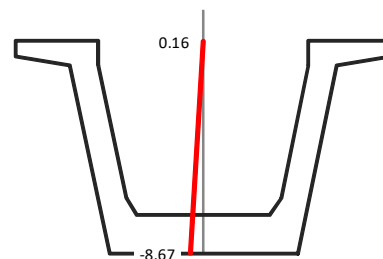
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

N_3	0.0 KN	ΔP	404.6 KN
M_3	1725.7 KNm	ΔMp	223.8 KNm
A_{id}	1.4578 mq		
S_{id}	1.4124 mc		
y_{bar}	96.88 cm		
J_{id}	0.5126 m ⁴		
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	2.18 Mpa		
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-10.23 Mpa		
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is}	-6.01 Mpa		
Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss}	-7.73 Mpa		



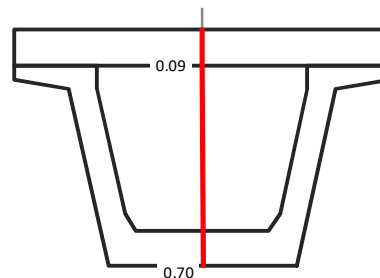
PERDITE ELASTICHE

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN) = 132.6
gruppo 1	1300.0	-->	-49.0	ΔM (KNm) = 69.6
				$\sigma_{inf} = -8.67$
				$\sigma_{sup} = 0.16$
gruppo 4	1300.0	-->	-0.6	



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN) = 404.6
gruppo 1	1251.0	-->	-108.2	ΔM (KNm) = 223.8
				$\sigma_{inf} = 0.70$
				$\sigma_{sup} = 0.09$
gruppo 4	1299.4	-->	-187.3	$\sigma_{ig} = 0.09$
				$\sigma_{ss} = -0.02$



TENSIONI ARMATURA LENTA

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-34.2	-34.9
GETTO DELLA SOLETTA	-22.0	-22.6
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-11.6	-16.3
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	9.9	-28.1

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1299.4	1251.0
GETTO DELLA SOLETTA	1281.5	1263.6
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1273.9	1082.8
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1291.3	1075.7

VERIFICA A TAGLIO - SLU

$V_{Ed} =$	2221.1 KN	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO	
$f_{ck} =$	45.00 Mpa	$v_{min} =$	0.375 Mpa
$f_{cd} =$	25.50 Mpa	$\sigma_{cp} =$	4.953 Mpa
$f'_{cd} =$	12.75 Mpa	$k =$	1.367
$f_{ctd} =$	1.77 Mpa	$A_{sl} =$	94.0 cm ²
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d =$	0.018
$d =$	148.5 cm	$\gamma_c =$	1.5
$b_w =$	35.9 cm	$V_{Rd} =$	772.3 KN

ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO	
$\alpha_{cc} =$	1.194
$V_{Rcd} =$	3655.3 KN
$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	44.98 cm ² /m
Staffe disposte 4 br. f10/5	57.21 cm ² /m
$V_{Rsd} =$	2992.0 KN
$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) =$	2992.0 KN
$V_{Rd} > V_{Ed} =$	La verifica è soddisfatta

VERIFICA A TORSIONE - SLU

$Mt_{Ed} =$	835.4 KNm	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO		ELEMENTO CON ARMATURA A TAGLIO	
Armatura trasversali		Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
$f_{yd} =$	391.30 Mpa	$f'_{cd} =$	12.75 Mpa	$u_m =$	5570.6 mm
$\theta =$	45 °	$t =$	176 mm	$A_{minima} =$	31.31 cm ²
$\Omega =$	1899129 mm ²	$\Omega =$	1899129 mm ²		
$A_{sw}/s = A_{nec.} =$	5.62 cm ² /m	$T_{Rcd} =$	4261.6 KNm		
$T_{Rsd} =$	835.4 KNm				

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

$V_{Ed}/V_{Rcd} + Mt_{Ed}/T_{Rcd} =$	0.804	La verifica è soddisfatta
--------------------------------------	--------------	----------------------------------

9.10 Verifica sezione n.34 – ascissa x = 10,164m

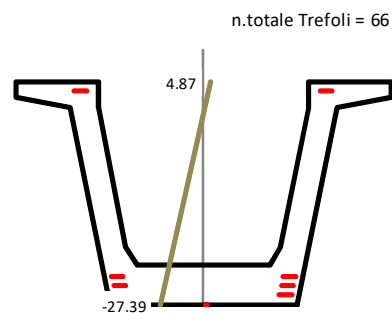
Effetto della precompressione Favorevole	σ_1	1134.0
	σ_2	1143.0
	σ_3	1151.9
	σ_4	1324.7

Ascissa di verifica 10.16 m
 Elemento di verifica 34
 N. Gruppi Trefoli attivi 4
 σ_{spi} Tensione di tesatura = 1300.0 Mpa

Tensioni dopo le perdite elastiche

Nprec. alla tesatura -12870.0 KN
 Mprec. alla tesatura -5119.1 KNm
 $\Delta N_{perdite\ elastiche}$ 1440.2 KN
 $\Delta M_{perdite\ elastiche}$ 664.6 KNm

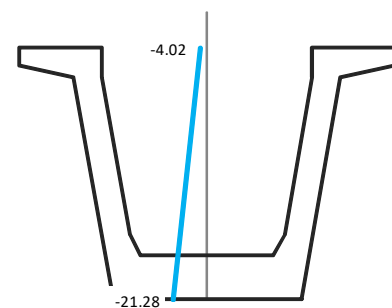
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -27.39 Mpa
 Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} 4.87 Mpa



FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

N_0 -12870.0 KN
 M_0 -2887.5 KNm
 A_{id} 0.9035 mq
 S_{id} 0.5155 mc
 y_{bar} 57.06 cm
 J_{id} 0.2083 m⁴

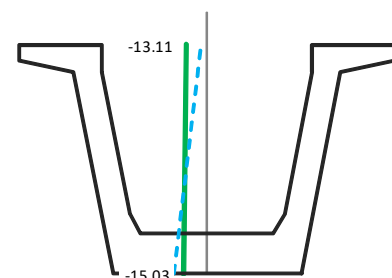
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -21.28 Mpa
 Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} -4.02 Mpa



GETTO DELLA SOLETTA

N_1 0.0 KN
 M_1 2283.1 KNm
 A_{id} 0.9035 mq
 S_{id} 0.5155 mc
 y_{bar} 57.06 cm
 J_{id} 0.2083 m⁴

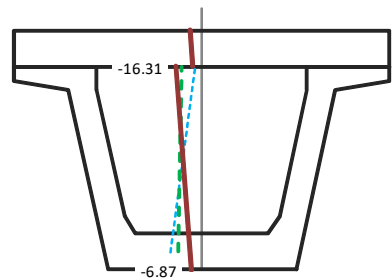
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -15.03 Mpa
 Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} -13.11 Mpa



CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

N_2 -1415.5 KN ΔP 2108.4 KN
 M_2 2810.9 KNm ΔMp 1548.0 KNm
 A_{id} 1.4953 mq
 S_{id} 1.4180 mc
 y_{bar} 94.83 cm
 J_{id} 0.5371 m⁴

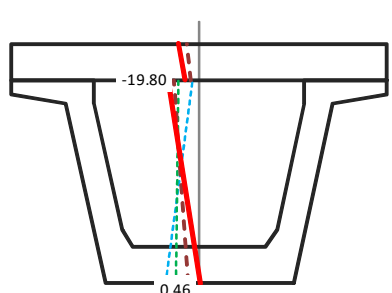
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} -6.87 Mpa
 Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} -16.31 Mpa
 Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} -5.56 Mpa
 Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} -7.59 Mpa



CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

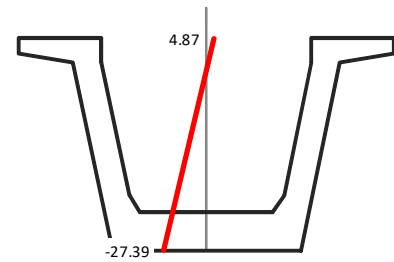
N_3 0.0 KN ΔP 2108.4 KN
 M_3 4149.6 KNm ΔMp 1548.0 KNm
 A_{id} 1.4953 mq
 S_{id} 1.4180 mc
 y_{bar} 94.83 cm
 J_{id} 0.5371 m⁴

Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf} 0.46 Mpa
 Tensione al lembo superiore trave σ_{sup} -19.80 Mpa
 Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is} -9.05 Mpa
 Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss} -13.01 Mpa



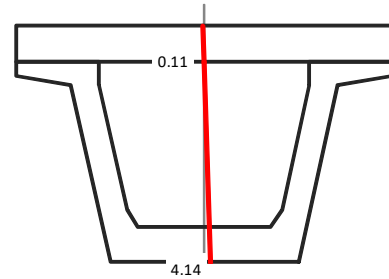
PERDITE ELASTICHE

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN)= 1440.2
gruppo 1	1300.0	-->	-166.0	ΔM (KNm)= 664.6
gruppo 2	1300.0	-->	-157.0	σ_{inf} = -27.39
gruppo 3	1300.0	-->	-148.1	σ_{sup} = 4.87
gruppo 4	1300.0	-->	24.7	



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN)= 2108.4
gruppo 1	1134.0	-->	-209.2	ΔM (KNm)= 1548.0
gruppo 2	1143.0	-->	-208.6	σ_{inf} = 4.14
gruppo 3	1151.9	-->	-211.9	σ_{sup} = 0.11
gruppo 4	1324.7	-->	-260.1	σ_g = 0.11
				σ_{ss} = -0.61



TENSIONI ARMATURA LENTA

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-113.8	-117.3
GETTO DELLA SOLETTA	-84.5	-84.9
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-20.6	-42.8
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	-1.5	-55.1

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1324.7	1134.0
GETTO DELLA SOLETTA	1276.8	1165.8
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1259.8	1000.2
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1242.6	984.1

VERIFICA A TAGLIO - SLU

V_{Ed} =	1126.2 KN	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO	
f_{ck} =	45.00 Mpa	v_{min} =	0.375 Mpa
f_{cd} =	25.50 Mpa	σ_{cp} =	14.244 Mpa
f'_{cd} =	12.75 Mpa	k =	1.367
f_{ctd} =	1.77 Mpa	A_{sl} =	94.0 cm ²
f_{yd} =	391.30 Mpa	$\rho = A_{sl}/b_w d$ =	0.018
d =	148.5 cm	γ_c =	1.5
b_w =	35.9 cm	V_{Rd} =	1515.7 KN

La sezione non necessita di armatura resistente a taglio

VERIFICA A TORSIONE - SLU

M_{tEd} =	652.7 KNm	Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
Armatura trasversali		f'_{cd} =	12.75 Mpa	u_m =	5570.6 mm
f_{yd} =	391.30 Mpa	t =	176 mm	A_{minima}	24.46 cm ²
θ	45 °	Ω	1899129 mm ²		
Ω	1899129 mm ²	T_{Rcd} =	4261.6 KNm		
$A_{sw}/s = A_{nec.}$ =	4.39 cm ² /m				
T_{Rsd} =	652.7 KNm				

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

$V_{Ed}/V_{Rcd} + M_{tEd}/T_{Rcd}$ =	0.487	La verifica è soddisfatta
--------------------------------------	-------	---------------------------

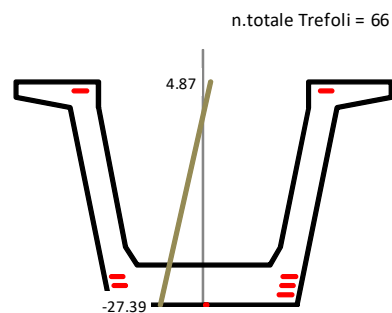
9.11 Verifica sezione n.51 – ascissa x = 15,4m

Effetto della precompressione Favorevole	σ_1 1134.0
Ascissa di verifica 15.40 m	σ_2 1143.0
Elemento di verifica 51	σ_3 1151.9
N. Gruppi Trefoli attivi 4	σ_4 1324.7

σ_{spi} Tensione di tesatura = 1300.0 Mpa

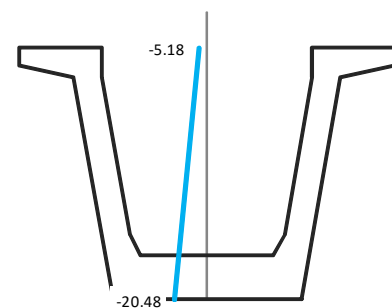
Tensioni dopo le perdite elastiche

Nprec. alla tesatura	-12870.0 KN
Mprec. alla tesatura	-5119.1 KNm
$\Delta N_{perdite\ elastiche}$	1440.2 KN
$\Delta M_{perdite\ elastiche}$	664.6 KNm
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-27.39 Mpa
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	4.87 Mpa



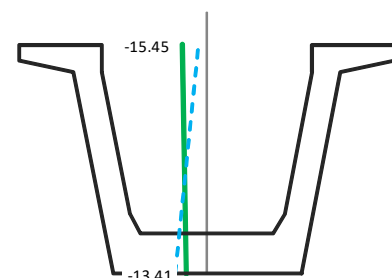
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO

N_0	-12870.0 KN
M_0	-2595.8 KNm
A_{id}	0.9035 mq
S_{id}	0.5155 mc
y_{bar}	57.06 cm
J_{id}	0.2083 m ⁴
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-20.48 Mpa
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-5.18 Mpa



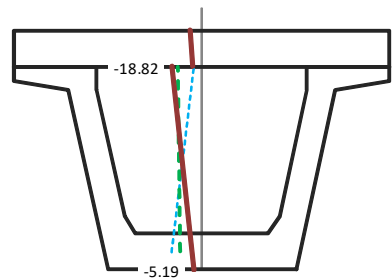
GETTO DELLA SOLETTA

N_1	0.0 KN
M_1	2581.5 KNm
A_{id}	0.9035 mq
S_{id}	0.5155 mc
y_{bar}	57.06 cm
J_{id}	0.2083 m ⁴
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-13.41 Mpa
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-15.45 Mpa



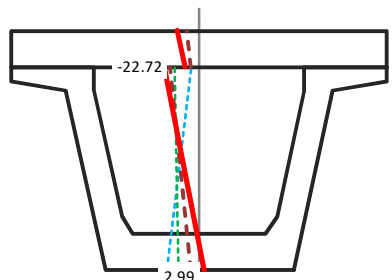
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE

N_2	-1415.5 KN	ΔP	1972.1 KN
M_2	3030.4 KNm	ΔM_p	1415.8 KNm
A_{id}	1.4953 mq		
S_{id}	1.4180 mc		
y_{bar}	94.83 cm		
J_{id}	0.5371 m ⁴		
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	-5.19 Mpa		
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-18.82 Mpa		
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is}	-5.73 Mpa		
Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss}	-7.80 Mpa		



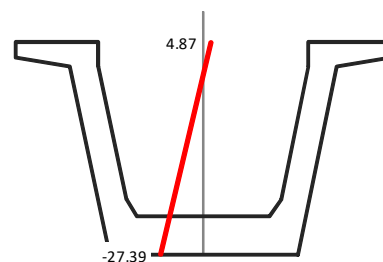
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE

N_3	0.0 KN	ΔP	1972.1 KN
M_3	4631.8 KNm	ΔM_p	1415.8 KNm
A_{id}	1.4953 mq		
S_{id}	1.4180 mc		
y_{bar}	94.83 cm		
J_{id}	0.5371 m ⁴		
Tensione al lembo inferiore trave σ_{inf}	2.99 Mpa		
Tensione al lembo superiore trave σ_{sup}	-22.72 Mpa		
Tensione al lembo inferiore soletta σ_{is}	-9.62 Mpa		
Tensione al lembo superiore soletta σ_{ss}	-13.85 Mpa		



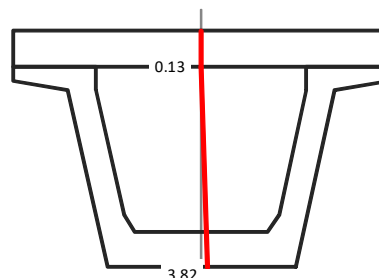
PERDITE ELASTICHE

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN)= 1440.2
gruppo 1	1300.0	-->	-166.0	ΔM (KNm)= 664.6
gruppo 2	1300.0	-->	-157.0	σ_{inf} = -27.39
gruppo 3	1300.0	-->	-148.1	σ_{sup} = 4.87
gruppo 4	1300.0	-->	24.7	



PERDITE DIFFERITE NEL TEMPO

	σ_{p0}		$\Delta\sigma_{p0}$	ΔN (KN)= 1972.1
gruppo 1	1134.0	-->	-190.7	ΔM (KNm)= 1415.8
gruppo 2	1143.0	-->	-192.2	σ_{inf} = 3.82
gruppo 3	1151.9	-->	-197.3	σ_{sup} = 0.13
gruppo 4	1324.7	-->	-286.1	σ_g = 0.13
				σ_{ss} = -0.53



TENSIONI ARMATURA LENTA

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	-110.1	-113.2
GETTO DELLA SOLETTA	-76.6	-77.0
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	-21.8	-35.0
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	11.8	-59.5

TENSIONI ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE

	Max	Min
FASE A VUOTO: PRECOMPRESSIONE + PESO PROPRIO	1324.7	1134.0
GETTO DELLA SOLETTA	1270.5	1170.0
CARICHI PERMANENTI + RITIRO + PERDITE LENTE	1252.6	968.1
CARICHI ACCIDENTALI + PERDITE LENTE	1236.5	948.9

VERIFICA A TAGLIO - SLU

V_{Ed} =	557.8 KN	ELEMENTO SENZA ARMATURA A TAGLIO	
f_{ck} =	45.00 Mpa	v_{min} =	0.375 Mpa
f_{cd} =	25.50 Mpa	σ_{cp} =	14.244 Mpa
f'_{cd} =	12.75 Mpa	k =	1.367
f_{ctd} =	1.77 Mpa	A_{s1} =	94.0 cm ²
f_{yd} =	391.30 Mpa	$\rho = A_{s1}/b_w d$ =	0.018
d =	148.5 cm	γ_c =	1.5
b_w =	35.9 cm	V_{Rd} =	1515.7 KN

La sezione non necessita di armatura resistente a taglio

VERIFICA A TORSIONE - SLU

M_{tEd} =	514.2 KNm	Calcestruzzo		Armatura longitudinali	
Armatura trasversali		f'_{cd} =	12.75 Mpa	u_m =	5570.6 mm
f_{yd} =	391.30 Mpa	t =	176 mm	A_{minima}	19.27 cm ²
θ	45 °	Ω	1899129 mm ²		
Ω	1899129 mm ²				
$A_{sw}/s = A_{nec.}$ =	3.46 cm ² /m	T_{Rcd} =	4261.6 KNm		
T_{Rsd} =	514.2 KNm				

VERIFICA A TORSIONE E TAGLIO - LATO CALCESTRUZZO

$V_{Ed}/V_{Rcd} + M_{tEd}/T_{Rcd} =$	0.286	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	2581 KNm	x	1.35	=	3485.0
CARICHI PERMANENTI	2187 KNm	x	1.5	=	3279.9
CARICHI ACCIDENTALI	4632 KNm	x	1.5	=	6947.8

Momento flettente di calcolo M_{Ed}

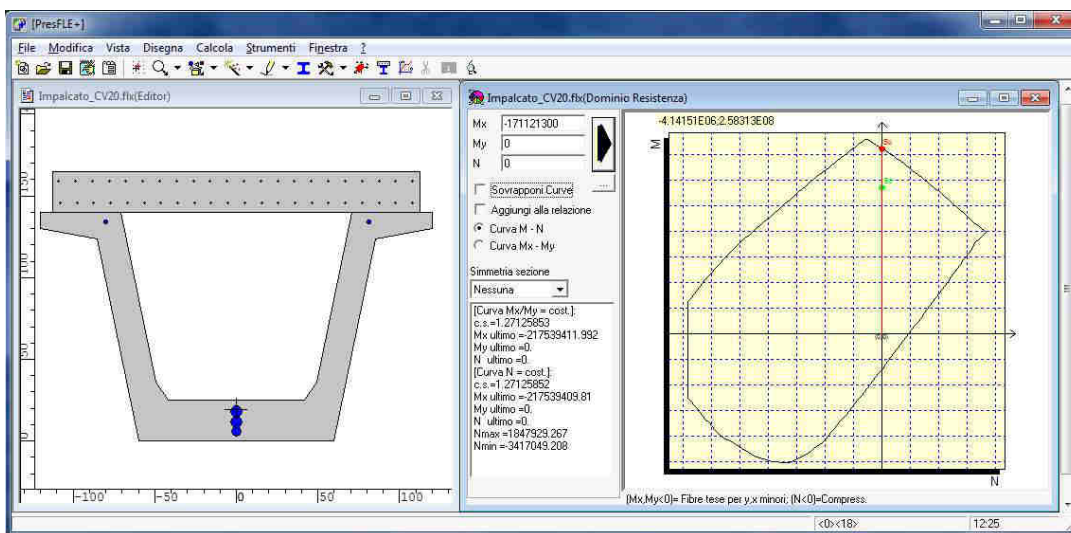
17119.27 KNm

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)	ϕ_{eq} (mm)	ϵ	ϵ_{SLU}
gruppo 1	6.0	58.63	0.00496673	0.00447006
gruppo 2	12.0	64.82	0.00496836	0.00447152
gruppo 3	18.0	64.82	0.00495277	0.00445749
gruppo 4	134.0	27.64	0.00469964	0.00422967

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

Arm11	146.0	22	12
Arm12	159.0	22	12



Il momento resistente vale: 21753.94 KNm c.s.= 1.2707 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

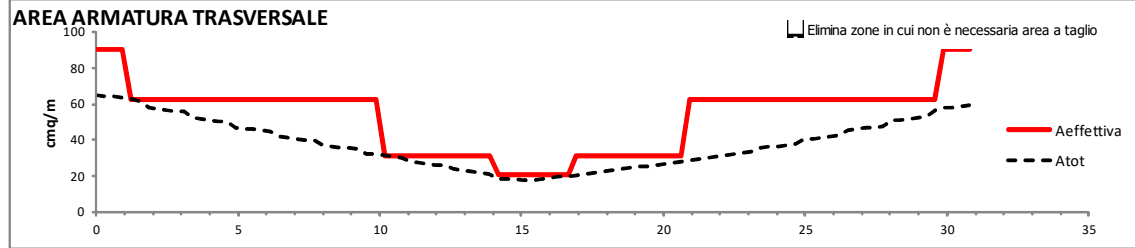
$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

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_{sw}/s (cm²/m)

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



x(m)	Fase 1 - Sola trave in c.a.p.				Fase 2 - Trave + soletta				TOTALE	Staffe
	$V_{r,d}$ (KN)	V_{Ed} (KN)	$V_{Rc,d}$ (KN)	A_{swcalc}/s	$V_{r,d}$ (KN)	V_{Ed} (KN)	$V_{Rc,d}$ (KN)	A_{swcalc}/s	A_{swcalc}/s	
0.00	361.9	895.0	4072.5	20.17	507.4	1730.1	4799.7	33.08	53.25	4 br. f12/5
0.31	361.9	877.1	4072.5	19.77	507.4	1721.2	4799.7	32.91	52.68	4 br. f12/5
0.62	361.9	859.2	4072.5	19.36	507.4	1712.3	4799.7	32.74	52.10	4 br. f12/5
0.92	751.5	841.3	4657.0	18.96	966.6	1703.4	5488.6	32.57	51.53	4 br. f12/5
1.23	720.2	823.4	4298.5	18.56	925.1	1694.5	5066.1	32.40	50.96	4 br. f10/5
1.54	676.4	805.5	3820.8	18.15	867.1	1685.6	4503.0	32.23	50.38	4 br. f10/5
1.85	629.2	787.6	3340.1	17.75	805.0	1513.8	3936.6	28.95	46.70	4 br. f10/5
2.16	604.4	769.7	3101.4	17.35	772.3	1504.9	3655.3	28.78	46.12	4 br. f10/5
2.46	604.4	751.8	3101.4	16.94	772.3	1496.0	3655.3	28.61	45.55	4 br. f10/5
2.77	604.4	733.9	3101.4	16.54	772.3	1487.2	3655.3	28.44	44.98	4 br. f10/5
3.08	926.5	716.0	3246.2	16.14	1151.9	1478.3	3825.9	28.27	44.40	4 br. f10/5
3.39	926.5	698.1	3246.2	15.73	1151.9	1338.3	3825.9	25.59	41.32	4 br. f10/5
3.70	926.5	680.2	3246.2	15.33	1151.9	1329.4	3825.9	25.42	40.75	4 br. f10/5
4.00	926.5	662.3	3246.2	14.93	1151.9	1320.5	3825.9	25.25	40.18	4 br. f10/5
4.31	926.5	644.4	3246.2	14.52	1151.9	1311.6	3825.9	25.08	39.60	4 br. f10/5
4.62	926.5	626.5	3246.2	14.12	1151.9	1302.7	3825.9	24.91	39.03	4 br. f10/5
4.93	926.5	608.6	3246.2	13.72	1151.9	1189.5	3825.9	22.75	36.46	4 br. f10/5
5.24	926.5	590.7	3246.2	13.31	1151.9	1180.7	3825.9	22.58	35.89	4 br. f10/5
5.54	926.5	572.8	3246.2	12.91	1151.9	1171.8	3825.9	22.41	35.31	4 br. f10/5
5.85	926.5	554.9	3246.2	12.51	1151.9	1162.9	3825.9	22.24	34.74	4 br. f10/5
6.16	1235.2	537.0	2865.8	12.10	1515.7	1154.0	3377.5	22.07	34.17	4 br. f10/5
6.47	1235.2	519.1	2865.8	11.70	1515.7	1060.6	3377.5	20.28	31.98	4 br. f10/5
6.78	1235.2	501.2	2865.8	11.30	1515.7	1051.7	3377.5	20.11	31.41	4 br. f10/5
7.08	1235.2	483.3	2865.8	10.89	1515.7	1042.8	3377.5	19.94	30.83	4 br. f10/5
7.39	1235.2	465.4	2865.8	10.49	1515.7	1033.9	3377.5	19.77	30.26	4 br. f10/5
7.70	1235.2	447.5	2865.8	10.08	1515.7	1025.1	3377.5	19.60	29.69	4 br. f10/5
8.01	1235.2	429.6	2865.8	9.68	1515.7	945.4	3377.5	18.08	27.76	4 br. f10/5
8.32	1235.2	411.7	2865.8	9.28	1515.7	936.5	3377.5	17.91	27.18	4 br. f10/5
8.62	1235.2	393.8	2865.8	8.87	1515.7	927.6	3377.5	17.74	26.61	4 br. f10/5
8.93	1235.2	375.9	2865.8	8.47	1515.7	918.7	3377.5	17.57	26.04	4 br. f10/5
9.24	1235.2	358.0	2865.8	8.07	1515.7	909.8	3377.5	17.40	25.46	4 br. f10/5
9.55	1235.2	340.1	2865.8	7.66	1515.7	839.6	3377.5	16.05	23.72	4 br. f10/5
9.86	1235.2	322.2	2865.8	7.26	1515.7	830.7	3377.5	15.88	23.15	4 br. f10/5
10.16	1235.2	304.3	2865.8	6.86	1515.7	821.9	3377.5	15.71	22.57	4 br. f10/10
10.47	1235.2	286.4	2865.8	6.45	1515.7	813.0	3377.5	15.54	22.00	4 br. f10/10
10.78	1235.2	268.5	2865.8	6.05	1515.7	804.1	3377.5	15.38	21.43	4 br. f10/10
11.09	1235.2	250.6	2865.8	5.65	1515.7	741.1	3377.5	14.17	19.82	4 br. f10/10
11.40	1235.2	232.7	2865.8	5.24	1515.7	732.2	3377.5	14.00	19.25	4 br. f10/10
11.70	1235.2	214.8	2865.8	4.84	1515.7	723.3	3377.5	13.83	18.67	4 br. f10/10
12.01	1235.2	196.9	2865.8	4.44	1515.7	714.5	3377.5	13.66	18.10	4 br. f10/10
12.32	1235.2	179.0	2865.8	4.03	1515.7	705.6	3377.5	13.49	17.53	4 br. f10/10
12.63	1235.2	161.1	2865.8	3.63	1515.7	648.5	3377.5	12.40	16.03	4 br. f10/10
12.94	1235.2	143.2	2865.8	3.23	1515.7	639.7	3377.5	12.23	15.46	4 br. f10/10
13.24	1235.2	125.3	2865.8	2.82	1515.7	630.8	3377.5	12.06	14.88	4 br. f10/10
13.55	1235.2	107.4	2865.8	2.42	1515.7	621.9	3377.5	11.89	14.31	4 br. f10/10
13.86	1235.2	89.5	2865.8	2.02	1515.7	613.0	3377.5	11.72	13.74	4 br. f10/10
14.17	1235.2	71.6	2865.8	1.61	1515.7	522.2	3377.5	9.99	11.60	4 br. f10/15
14.48	1235.2	53.7	2865.8	1.21	1515.7	531.1	3377.5	10.16	11.37	4 br. f10/15
14.78	1235.2	35.8	2865.8	0.81	1515.7	540.0	3377.5	10.33	11.13	4 br. f10/15
15.09	1235.2	17.9	2865.8	0.40	1515.7	548.9	3377.5	10.50	10.90	4 br. f10/15
15.40	1235.2	0.0	2865.8	0.00	1515.7	557.8	3377.5	10.67	10.67	4 br. f10/15

9.14 Verifiche a torsione – SLU

$\theta = 45^\circ$ $A_{sw}/s \text{ (cm}^2/\text{m)}$ $T_{Ed} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_i}{u_m} \cdot f_{yd} / ctg\theta$ $T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$ $T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot ctg\theta / (1 + ctg^2\theta)$
 $f'_{cd} = 12.75 \text{ Mpa}$

x(m)	TORSIONE									
	Mt _{Ed} (KNm)	A=Ω (mmq)	t (mm)	T _{Rcd} (KNm)	A _{sw} /s	I	V _{Ed} /V _{Rcd} +Mt _{Ed} /T _{Rcd}	Staffe	u _m (mm)	Arm. Long. (cm ²)
0.00	797.5	1707281	276.0	6007.9	5.97	0.680	4 br. f12/5	5284.8	31.5	
0.31	797.5	1707281	276.0	6007.9	5.97	0.674	4 br. f12/5	5284.8	31.5	
0.62	797.5	1707281	276.0	6007.9	5.97	0.668	4 br. f12/5	5284.8	31.5	
0.92	797.5	1707281	276.0	6007.9	5.97	0.596	4 br. f12/5	5284.8	31.5	
1.23	797.5	1750972	252.8	5643.7	5.82	0.638	4 br. f10/5	5351.1	31.1	
1.54	797.5	1809738	222.0	5122.5	5.63	0.709	4 br. f10/5	5439.1	30.6	
1.85	835.4	1869376	191.2	4557.2	5.71	0.768	4 br. f10/5	5527.1	31.6	
2.16	835.4	1899129	176.0	4261.6	5.62	0.818	4 br. f10/5	5570.6	31.3	
2.46	835.4	1899129	176.0	4261.6	5.62	0.811	4 br. f10/5	5570.6	31.3	
2.77	835.4	1899129	176.0	4261.6	5.62	0.804	4 br. f10/5	5570.6	31.3	
3.08	835.4	1899129	176.0	4261.6	5.62	0.770	4 br. f10/5	5570.6	31.3	
3.39	820.6	1899129	176.0	4261.6	5.52	0.725	4 br. f10/5	5570.6	30.8	
3.70	820.6	1899129	176.0	4261.6	5.52	0.718	4 br. f10/5	5570.6	30.8	
4.00	820.6	1899129	176.0	4261.6	5.52	0.711	4 br. f10/5	5570.6	30.8	
4.31	820.6	1899129	176.0	4261.6	5.52	0.704	4 br. f10/5	5570.6	30.8	
4.62	820.6	1899129	176.0	4261.6	5.52	0.697	4 br. f10/5	5570.6	30.8	
4.93	783.9	1899129	176.0	4261.6	5.27	0.654	4 br. f10/5	5570.6	29.4	
5.24	783.9	1899129	176.0	4261.6	5.27	0.647	4 br. f10/5	5570.6	29.4	
5.54	783.9	1899129	176.0	4261.6	5.27	0.640	4 br. f10/5	5570.6	29.4	
5.85	783.9	1899129	176.0	4261.6	5.27	0.633	4 br. f10/5	5570.6	29.4	
6.16	783.9	1899129	176.0	4261.6	5.27	0.685	4 br. f10/5	5570.6	29.4	
6.47	740.8	1899129	176.0	4261.6	4.98	0.642	4 br. f10/5	5570.6	27.8	
6.78	740.8	1899129	176.0	4261.6	4.98	0.634	4 br. f10/5	5570.6	27.8	
7.08	740.8	1899129	176.0	4261.6	4.98	0.626	4 br. f10/5	5570.6	27.8	
7.39	740.9	1899129	176.0	4261.6	4.98	0.618	4 br. f10/5	5570.6	27.8	
7.70	740.9	1899129	176.0	4261.6	4.98	0.610	4 br. f10/5	5570.6	27.8	
8.01	697.5	1899129	176.0	4261.6	4.69	0.571	4 br. f10/5	5570.6	26.1	
8.32	697.5	1899129	176.0	4261.6	4.69	0.563	4 br. f10/5	5570.6	26.1	
8.62	697.5	1899129	176.0	4261.6	4.69	0.555	4 br. f10/5	5570.6	26.1	
8.93	697.5	1899129	176.0	4261.6	4.69	0.547	4 br. f10/5	5570.6	26.1	
9.24	697.5	1899129	176.0	4261.6	4.69	0.539	4 br. f10/5	5570.6	26.1	
9.55	652.7	1899129	176.0	4261.6	4.39	0.502	4 br. f10/5	5570.6	24.5	
9.86	652.7	1899129	176.0	4261.6	4.39	0.495	4 br. f10/5	5570.6	24.5	
10.16	652.7	1899129	176.0	4261.6	4.39	0.487	4 br. f10/10	5570.6	24.5	
10.47	652.7	1899129	176.0	4261.6	4.39	0.479	4 br. f10/10	5570.6	24.5	
10.78	652.7	1899129	176.0	4261.6	4.39	0.471	4 br. f10/10	5570.6	24.5	
11.09	607.0	1899129	176.0	4261.6	4.08	0.436	4 br. f10/10	5570.6	22.7	
11.40	607.0	1899129	176.0	4261.6	4.08	0.428	4 br. f10/10	5570.6	22.7	
11.70	607.0	1899129	176.0	4261.6	4.08	0.420	4 br. f10/10	5570.6	22.7	
12.01	607.0	1899129	176.0	4261.6	4.08	0.412	4 br. f10/10	5570.6	22.7	
12.32	607.0	1899129	176.0	4261.6	4.08	0.404	4 br. f10/10	5570.6	22.7	
12.63	560.5	1899129	176.0	4261.6	3.77	0.371	4 br. f10/10	5570.6	21.0	
12.94	560.5	1899129	176.0	4261.6	3.77	0.363	4 br. f10/10	5570.6	21.0	
13.24	560.5	1899129	176.0	4261.6	3.77	0.355	4 br. f10/10	5570.6	21.0	
13.55	560.5	1899129	176.0	4261.6	3.77	0.347	4 br. f10/10	5570.6	21.0	
13.86	560.5	1899129	176.0	4261.6	3.77	0.340	4 br. f10/10	5570.6	21.0	
14.17	514.2	1899129	176.0	4261.6	3.46	0.296	4 br. f10/15	5570.6	19.3	
14.48	514.2	1899129	176.0	4261.6	3.46	0.294	4 br. f10/15	5570.6	19.3	
14.78	514.2	1899129	176.0	4261.6	3.46	0.291	4 br. f10/15	5570.6	19.3	
15.09	514.2	1899129	176.0	4261.6	3.46	0.288	4 br. f10/15	5570.6	19.3	
15.40	514.2	1899129	176.0	4261.6	3.46	0.286	4 br. f10/15	5570.6	19.3	

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:

Scorrimento = TS/J

S = Momento statico della soletta rispetto al baricentro

J = Momento d'inerzia della sezione

Y_g = posizione baricentro da intradosso

x(m)	T_{perm} (KN)	T_{acc} (KN)	$T_{torsione}$ (KN)	T (KN)	S (cm ³)	J (cm ⁴)	TS/J (KN/m)	A_{swcalc}/s cm ² /m	Connettori suggeriti
0.00	-309.4	-843.9	770.8	-382.6	282656	56062561	192.9	8.5	4 br. f10/30
0.31	-303.5	-843.9	770.8	-376.7	282656	56062561	189.9	8.4	4 br. f10/30
0.62	-297.6	-843.9	770.8	-370.8	282656	56062561	186.9	8.3	4 br. f10/30
0.92	-291.7	-843.9	770.8	-364.8	286710	57269469	182.7	8.1	4 br. f10/30
1.23	-285.7	-843.9	751.5	-378.1	282002	56130076	190.0	8.4	4 br. f10/30
1.54	-279.8	-843.9	727.1	-396.6	274272	54403113	200.0	8.9	4 br. f10/30
1.85	-270.9	-738.3	737.4	-271.8	264470	52383446	137.2	6.1	4 br. f10/30
2.16	-265.0	-738.3	725.8	-277.5	258708	51259073	140.0	6.2	4 br. f10/30
2.46	-259.1	-738.3	725.8	-271.5	258708	51259073	137.0	6.1	4 br. f10/30
2.77	-253.2	-738.3	725.8	-265.6	258708	51259073	134.1	5.9	4 br. f10/30
3.08	-247.3	-738.3	725.8	-259.7	265170	52591885	130.9	5.8	4 br. f10/30
3.39	-237.8	-654.4	712.9	-179.3	265170	52591885	90.4	4.0	4 br. f10/30
3.70	-231.9	-654.4	712.9	-173.3	265170	52591885	87.4	3.9	4 br. f10/30
4.00	-226.0	-654.4	712.9	-167.4	265170	52591885	84.4	3.7	4 br. f10/30
4.31	-220.0	-654.4	712.9	-161.5	265170	52591885	81.4	3.6	4 br. f10/30
4.62	-214.1	-654.4	712.9	-155.6	265170	52591885	78.4	3.5	4 br. f10/30
4.93	-204.6	-588.5	681.1	-111.9	265170	52591885	56.4	2.5	4 br. f10/30
5.24	-198.7	-588.5	681.1	-106.0	265170	52591885	53.5	2.4	4 br. f10/30
5.54	-192.7	-588.5	681.1	-100.1	265170	52591885	50.5	2.2	4 br. f10/30
5.85	-186.8	-588.5	681.1	-94.2	265170	52591885	47.5	2.1	4 br. f10/30
6.16	-180.9	-588.5	681.1	-88.2	271019	53711899	44.5	2.0	4 br. f10/30
6.47	-171.5	-535.5	643.7	-63.4	271019	53711899	32.0	1.4	4 br. f10/30
6.78	-165.6	-535.5	643.7	-57.5	271019	53711899	29.0	1.3	4 br. f10/30
7.08	-159.7	-535.5	643.7	-51.6	271019	53711899	26.0	1.2	4 br. f10/30
7.39	-153.8	-535.5	643.7	-45.6	271019	53711899	23.0	1.0	4 br. f10/30
7.70	-147.9	-535.5	643.7	-39.7	271019	53711899	20.0	0.9	4 br. f10/30
8.01	-138.9	-491.3	606.0	-24.2	271019	53711899	12.2	0.5	4 br. f10/30
8.32	-133.0	-491.3	606.0	-18.3	271019	53711899	9.2	0.4	4 br. f10/30
8.62	-127.1	-491.3	606.0	-12.4	271019	53711899	6.3	0.3	4 br. f10/30
8.93	-121.2	-491.3	606.0	-6.5	271019	53711899	3.3	0.1	4 br. f10/30
9.24	-115.2	-491.3	606.0	-0.6	271019	53711899	0.3	0.0	4 br. f10/30
9.55	-106.8	-452.9	567.1	7.4	271019	53711899	3.7	0.2	4 br. f10/30
9.86	-100.9	-452.9	567.1	13.3	271019	53711899	6.7	0.3	4 br. f10/30
10.16	-95.0	-452.9	567.1	19.2	271019	53711899	9.7	0.4	4 br. f10/30
10.47	-89.1	-452.9	567.1	25.1	271019	53711899	12.7	0.6	4 br. f10/30
10.78	-83.1	-452.9	567.1	31.1	271019	53711899	15.7	0.7	4 br. f10/30
11.09	-75.4	-418.7	527.3	33.3	271019	53711899	16.8	0.7	4 br. f10/30
11.40	-69.4	-418.7	527.3	39.2	271019	53711899	19.8	0.9	4 br. f10/30
11.70	-63.5	-418.7	527.3	45.1	271019	53711899	22.8	1.0	4 br. f10/30
12.01	-57.6	-418.7	527.3	51.0	271019	53711899	25.7	1.1	4 br. f10/30
12.32	-51.7	-418.7	527.3	56.9	271019	53711899	28.7	1.3	4 br. f10/30
12.63	-44.5	-387.8	487.0	54.6	271019	53711899	27.6	1.2	4 br. f10/30
12.94	-38.6	-387.8	487.0	60.6	271019	53711899	30.6	1.4	4 br. f10/30
13.24	-32.7	-387.8	487.0	66.5	271019	53711899	33.5	1.5	4 br. f10/30
13.55	-26.8	-387.8	487.0	72.4	271019	53711899	36.5	1.6	4 br. f10/30
13.86	-20.9	-387.8	487.0	78.3	271019	53711899	39.5	1.7	4 br. f10/30
14.17	-14.4	362.6	446.8	79.9	271019	53711899	401.1	17.8	4 br. f10/15
14.48	-8.5	362.6	446.8	800.8	271019	53711899	404.1	17.9	4 br. f10/15
14.78	-2.6	362.6	446.8	806.7	271019	53711899	407.1	18.0	4 br. f10/15
15.09	3.4	362.6	446.8	812.7	271019	53711899	410.1	18.2	4 br. f10/15
15.40	9.3	362.6	446.8	818.6	271019	53711899	413.0	18.3	4 br. f10/15

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).

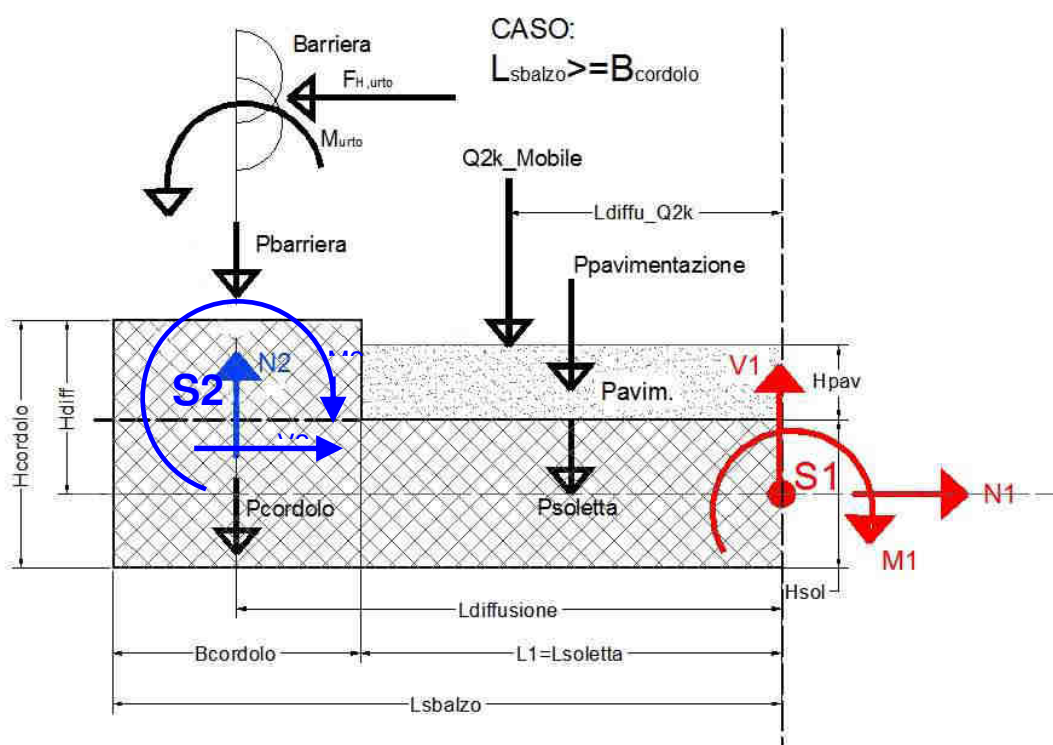


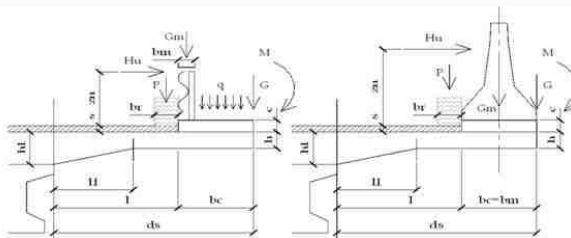
Figura 9-1 – Sezioni di verifica all'azione eccezionale dovuta all'urto del veicolo in svio

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 S₁)

Le verifiche della soletta sono riportate nel dettaglio delle schede seguenti in termini di capacità portante ultima della sezione sia a flessione sia a taglio.

AZIONI E VERIFICHE ELEMENTI A SBALZO (NTC 2018) - 1/2
CAVALCAVIA CV20



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Spessore minimo della soletta (m)		h_{-}	0.25
Spessore massimo della soletta (m)		$h1_{-}$	0.25
Tratto a spessore variabile (m)		$h2_{-}$	0
Copriferro armatura in zona compressa (m)		cf_{c-}	0.06
Copriferro armatura in zona tesa (m)		cf_{t-}	0.06
Armatura in zona compressa (mq)		as_{-}	0.000770
	ϕ (mm)	int (cm)	
	14	20	
Armatura in zona tesa (mq)		ai_{-}	0.001272
	ϕ (mm)	int (cm)	
	18	20	+
Altezza del cordolo (m)		c_{-}	0.17
Spessore della pavimentazione (m)		s_{-}	0.1
Dimensione sbalzo carrabile (m)		l_{-}	0.7
Larghezza cordolo (m)		bc_{-}	0.75
Azione permanente barriera (KN/ml)		Gm_{-}	1.0
Azione permanente a filo esterno cordolo (KN/ml)		G_{-}	7.5
Momento azione permanente a filo esterno cordolo (KNm/ml)		M_{-}	0
Azione accidentale sul cordolo (KN/mq)		q_{-}	0
Dimensione totale dello sbalzo (m)		ds_{-}	1.45
Altezza utile della sezione (m)		d_{-}	0.19

CM	2			N	T	M
Linf	0.50		mobile		104.25	18.95
			urto	58.00		31.85
Lsup	0.75		mobile		137.98	35.41
			urto	48.37		25.45

AZIONI ELEMENTARI E SOLLECITAZIONI A ml DI SEZIONE

			N	T	M
		(KN/m)	(KN)	(KN)	(KNm)
Peso proprio della soletta				9.06	6.57
Peso proprio cordolo		4.25		3.19	3.43
Peso proprio pavimentazione		2.20		1.54	0.54
Azione permanente barriera				1.00	1.03
Azione permanente a filo esterno cordolo				7.50	10.88
Azione accidentale carico mobile				131.23	32.12
Azione accidentale dovuta all'urto			50.30		26.73
Azione accidentale sul cordolo		0.00		0.00	0.00
TOTALE AZIONE PERMANENTE	1.00		0.00	22.29	22.44
TOTALE AZIONE ACCIDENTALE	1.00		50.30	131.23	58.85
TOTALI AZIONI DI CALCOLO FASE I (sol+cord)			0.00	12.25	10.00
TOTALI AZIONI DI CALCOLO FASE II (perm+acc) - Urto non fattorizzato			50.30	141.27	71.29
TOTALI AZIONI DI CALCOLO FASE I+II			50.30	153.52	81.29

Azioni e verifiche elementi a sbalzo

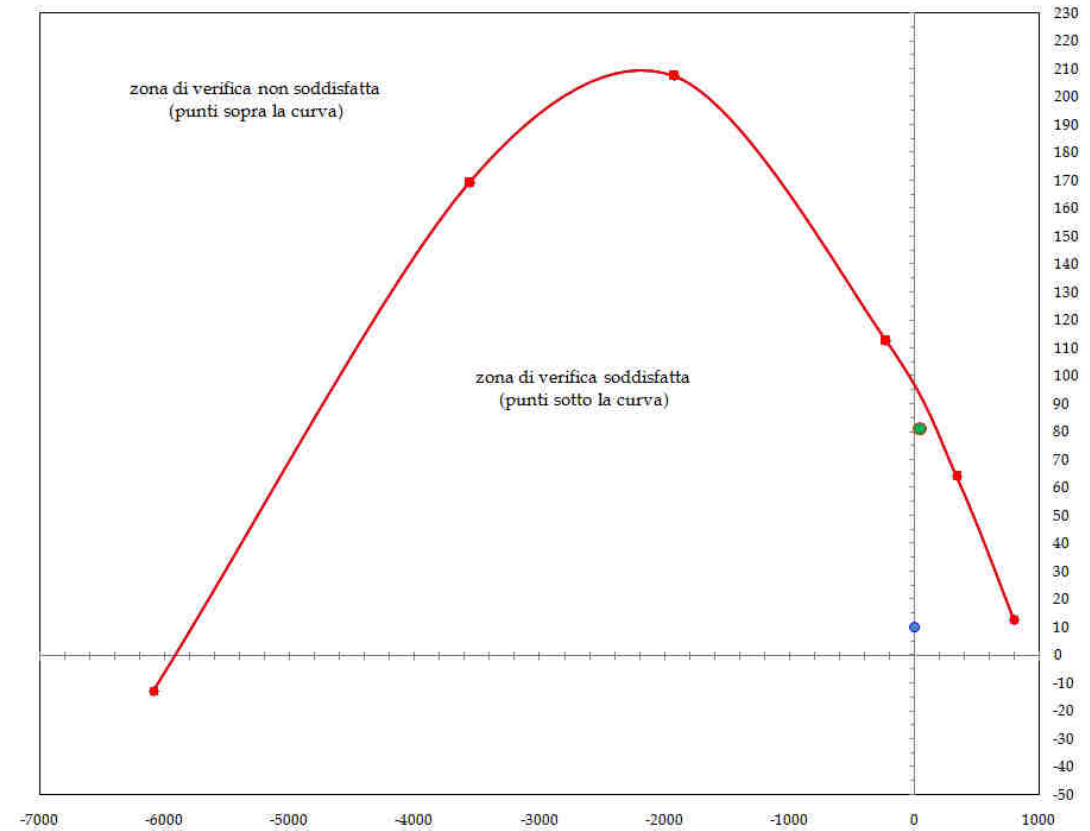
Le armature presenti nella sezione di verifica A sono costituite da f18/20 per un'area complessiva di 12.72 cmq/ml.

La verifica a flessione risulta soddisfatta: non sono dunque necessarie armature integrative in soletta.

AZIONI E VERIFICHE ELEMENTI A SBALZO (NTC 2018) - 2/2

Resistenza cubica del calcestruzzo (Mpa)					Rck_	45
Tensione di snervamento dell'acciaio presente (Mpa)					fy_	450
Coefficiente di conservazione del calcestruzzo					θc_	1.00
Coefficiente di conservazione dell'acciaio					θs_	1.00
Tensione di snervamento dell'acciaio di rinforzo (Mpa)					Δfy_	450
Area di acciaio di rinforzo (mq)					Δai_	0.000000
	φ (mm)	int (cm)		φ (mm)	int (cm)	
			+			+
Larghezza sezione di verifica (m)					b_	1.00
Resistenza cilindrica $f_{ck} = 0.83 \times R_{cK} \times \theta_c$ (KN/mm ²)					fck_	37 350
Resistenza di calcolo $f_{cd} = f_{ck} / 1.5$ (KN/mq)					fcd_	24 900
Resistenza di calcolo ridotta $f_{rd} = f_{cd} \times 0.85$ (KN/mq)					frd_	21 165
Resistenza $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{(2/3)}$ (KN/mq)					fctm_	3 352
Resistenza $f_{ctd} = 0.7 \times f_{ctm} / 1.5$ (KN/mq)					fctd_	1 564
Resistenza di calcolo acciaio presente $f_{yd} = f_y \times \theta_s / 1.15$ (KN/mq)					fyd_	391 304
Resistenza di calcolo acciaio di rinforzo $\Delta f_{yd} = \Delta f_y / 1.15$ (KN/mq)					\Deltafyd_	391 304

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE: DIAGRAMMA DI INTERAZIONE M-N - SEZIONE A
 Punto di verifica FASE I Nd=0 KN- Md=10 kNm - Punto di verifica FASE I+II Nd=50.3 KN- Md=81.29 kNm



Mrd = 95 kNm

Msd/Mrd = 0.86 < 1

VERIFICA A TAGLIO:

$k = 1 + (200/d)^{(1/2)}$
 $\rho_1 = A_s / b_w \times d = \text{rapporto d'armatura comunque minore di } 0.02$
 $V_{min} (N/mm^2) = 0.035 k^{(3/2)} \times f_{ck}^{(1/2)}$
 $V_{sdu_min} (KN) = V_{min} \times b \times d$
 $V_{rd} = [0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{(1/3)}] \times (b \times d) / \gamma_c \geq V_{sdu_min}$

$k_1 = 2.00$
 $rr1 = 0.0107$
 $v_{min} = 0.61$
 $V_{sdu_min} = 114.951$
 $V_{rd} = 234.20$

Vsd/Vrd = 0.66 < 1

Azioni e verifiche elementi a sbalzo - dominio di rottura e verifica a taglio

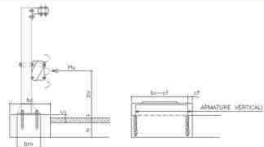
9.18 Verifiche del cordolo (Sezione S₂)

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

Nelle seguenti verifiche si prenderanno in conto le armature di progetto dimensionate sulla base della geometria e della 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 di progetto (N/mm²) f_{yp}_ 450
 Coefficiente di fattorizzazione delle sollecitazioni d'urto cs_ 1.0
 Coefficiente di sicurezza γ_m γ_m_ 1.15
 Coefficiente di sicurezza γ_c γ_c_ 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		
Forza orizzontale prodotta dall'urto (kN)	Hu_ 100	Larghezza di influenza urto (m)	_bs_ 0.74

Armature verticali nel cordolo resistenti a trazione (mm²/ml): As_ 1809.6

φ (mm)	int (cm)	+	φ (mm)	int (cm)	+	φ (mm)	int (cm)
12	12.5		12	12.5			

Armature verticali nel cordolo resistenti a trazione (mm²/ml): Asp_ 1809.6

φ (mm)	int (cm)	+	φ (mm)	int (cm)	+	φ (mm)	int (cm)
12	12.5		12	12.5			

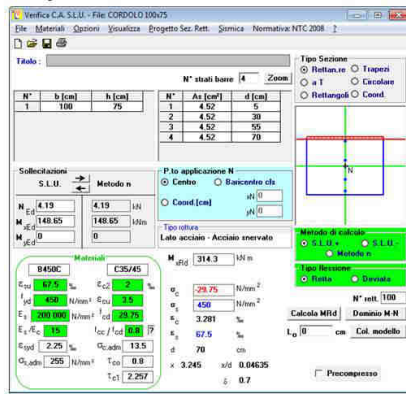
Armature resistenti a taglio (mm²/ml): AT_ 3619.1

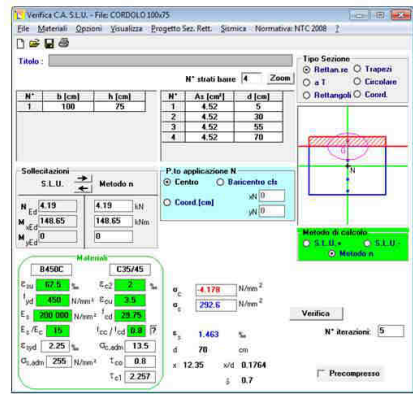
Armature di progetto acciaio f_{yd} = 450.00 Mpa
 S f12 + S f12

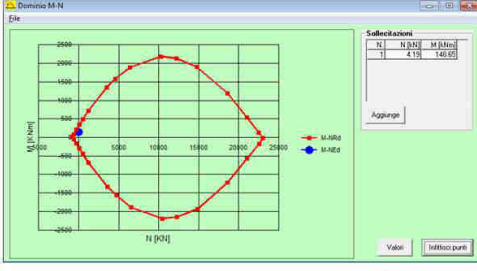
Armature di progetto acciaio f_{td} = 450.00 Mpa
 S f12 + S f12

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







Md = 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
$\rho_1 = A_s / bw \times d = \text{rapporto d'armatura comunque minore di } 0.02$		ρ_{1*}	0.0143
$V_{min} (N/mm^2) = 0.035 k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}$		v_{min*}	0.41
$V_{sdu_min} (KN) = V_{min} \times b \times d$		V_{sdu_min}	277.09
$V_{rd} = [0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3}] \times (b \times d) / \gamma_c \geq V_{sdu_min}$		V_{rd}	706.59
		$V_{sd} / V_{rd} =$	0.19 < 1
VERIFICA A TAGLIO E TRAZIONE (armature integrative di progetto)			
Resistenza di calcolo a trazione (N/mm ²) = (f _{yp} × k / γ _m)	$f_{yd} =$	450.0	
Tensione tangenziale (N / mm ²)	$\tau =$	37.3	
Tensione normale (N / mm ²)	$\sigma =$	292.6	
$\sigma_{ed} = \text{rad} q (\sigma^2 + 3\tau^2)$		299.66	< 450.0
VERIFICA SODDISFATTA			

9.19 Verifiche a deformazione

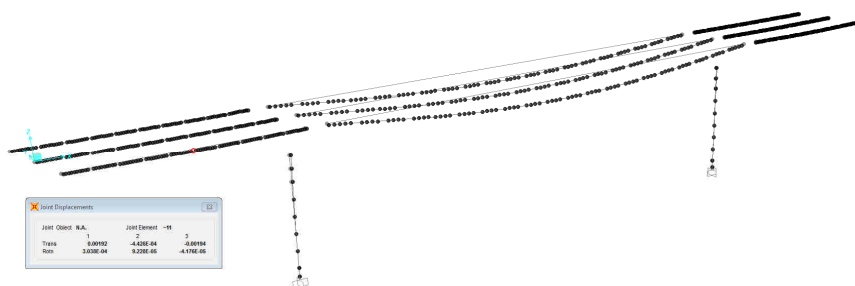
Si riporta di seguito il grafico relativo ai valori di deformazione verticale massima e minima dell'impalcato considerando agenti i soli carichi variabili da traffico e la variazione termica differenziale.

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.

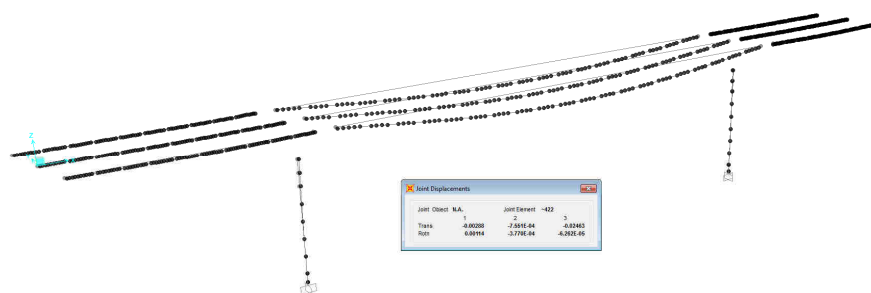
Le verifiche di deformazione si intendono pertanto soddisfatte, risultando verificata la seguente disequaglianza:

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

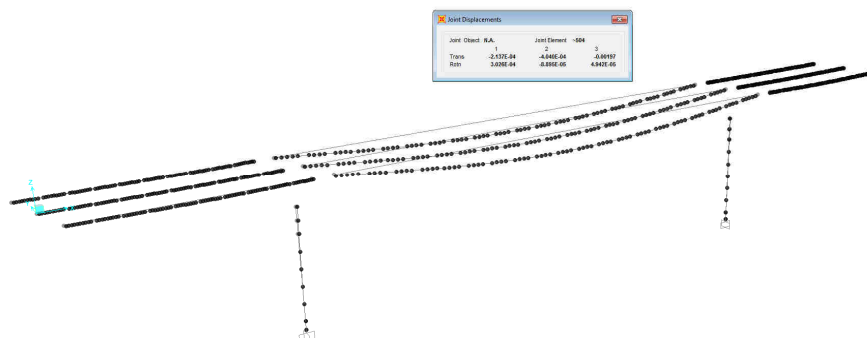
Campata 1 $\delta_{\text{vert,max}} = 1.9 < 12000/500 = 24\text{mm}$



Campata 2 $\delta_{\text{vert,max}} = 24.6 < 32000/500 = 64\text{mm}$

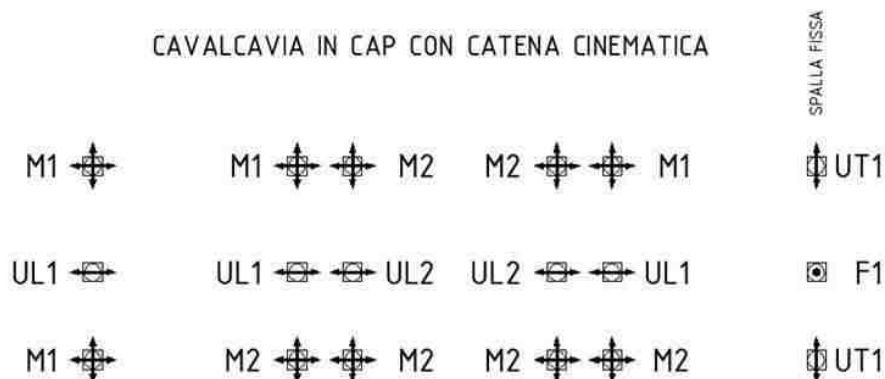


Campata 3 $\delta_{\text{vert,max}} = 3.6 < 12000/500 = 24\text{mm}$



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 _{sd}	H _{sd, LONG}	H _{sd, TRASV}	N _{sd}	H _{sd, LONG}	H _{sd, TRASV}
[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
F	Fisso	1	1600	300	200	700	1050	450
UL1	Unidir long	3	1700	0	150	750	0	450
UL2	Unidir long	2	3150	0	150	1400	0	600
UT1	Unidir trasv	2	1600	400	0	700	1250	0
M1	Multidir	6	1700	0	0	750	0	0
M2	Multidir	4	3150	0	0	1400	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.

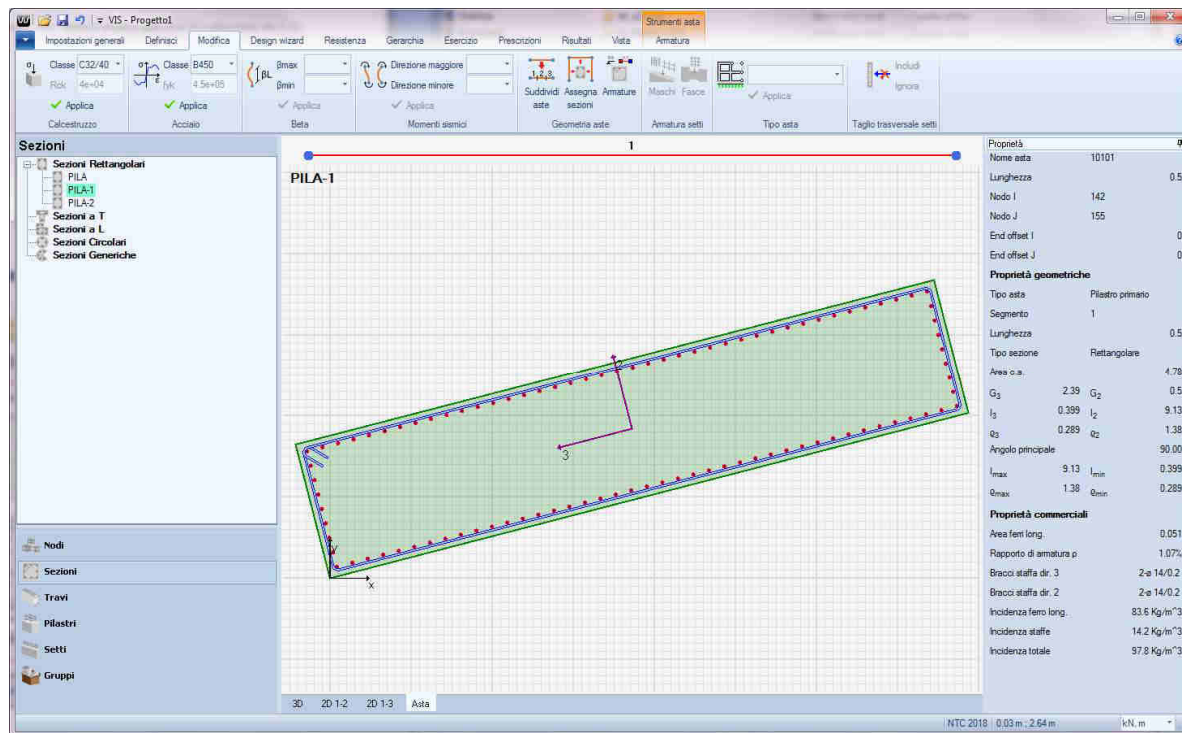


Figura 10-1 – Pila 1: sezione di verifica 7.285 x 1.00 – ϕ 26/10

10.1.1 Verifica SLU-SLV

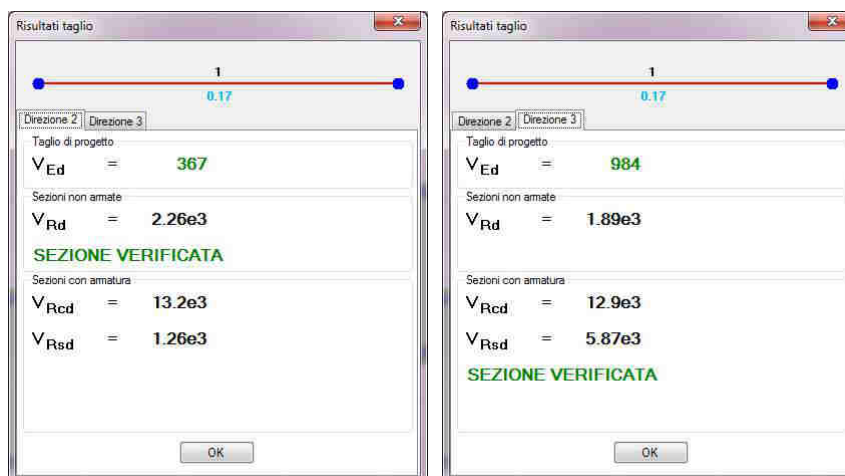


Figura 10-2 – Pila 1: Dettaglio verifiche a taglio (V_2 e V_3) (unità di misura: kN; m; °C)

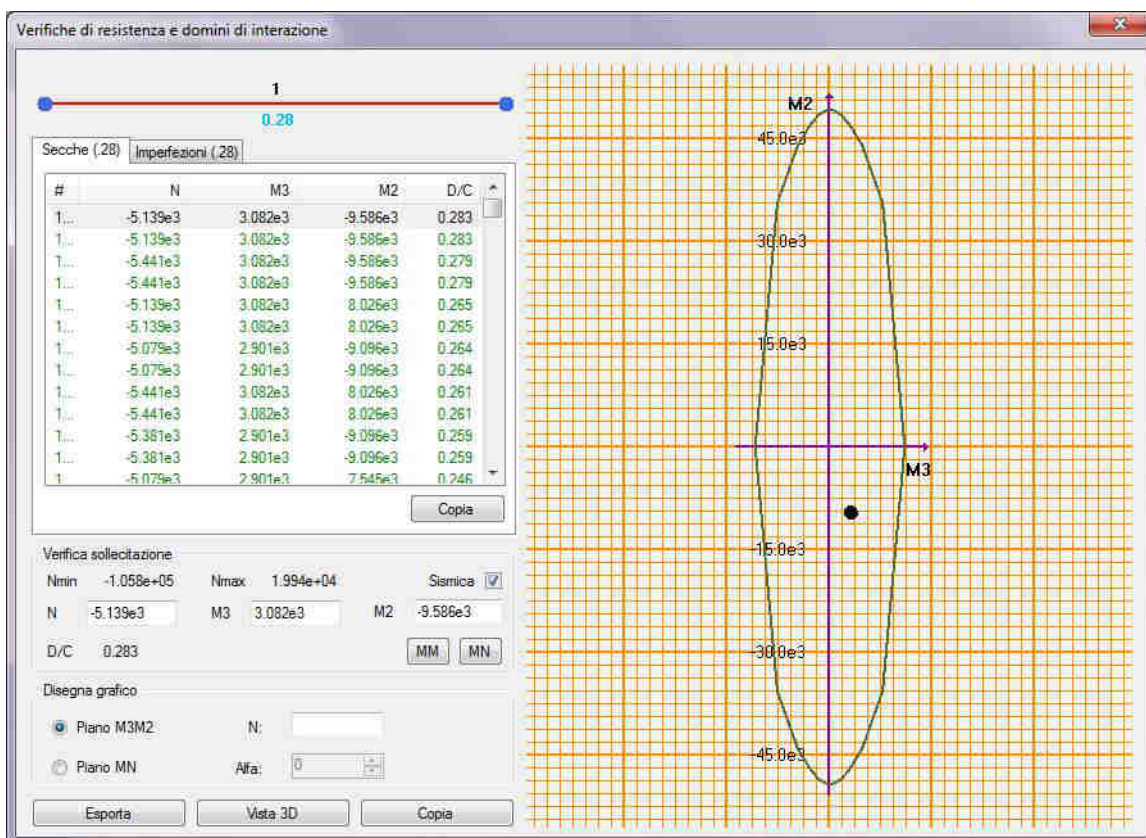


Figura 10-3 – Pila 1: Dettaglio verifica PMM – piano MM (unità di misura: kN; m; °C)

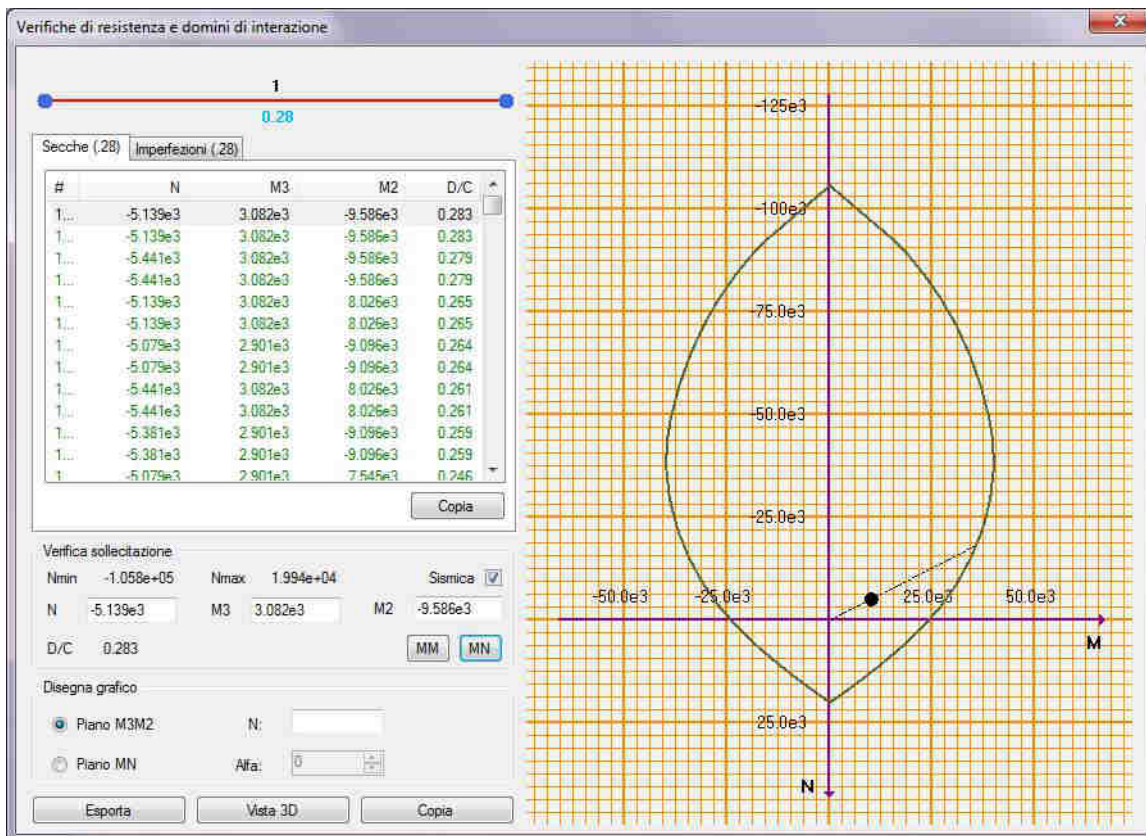


Figura 10-4 – Pila 1: Dettaglio verifica PMM – piano MN (unità di misura: kN; m; °C)

10.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni

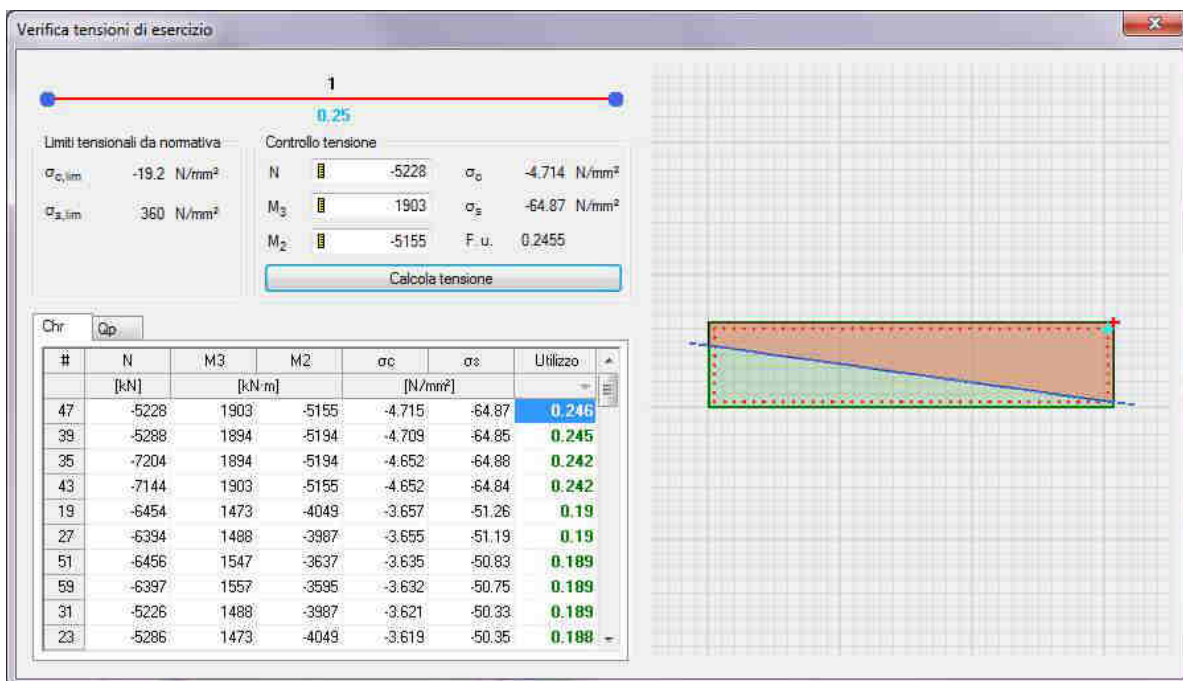


Figura 10-5 – Pila 1: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

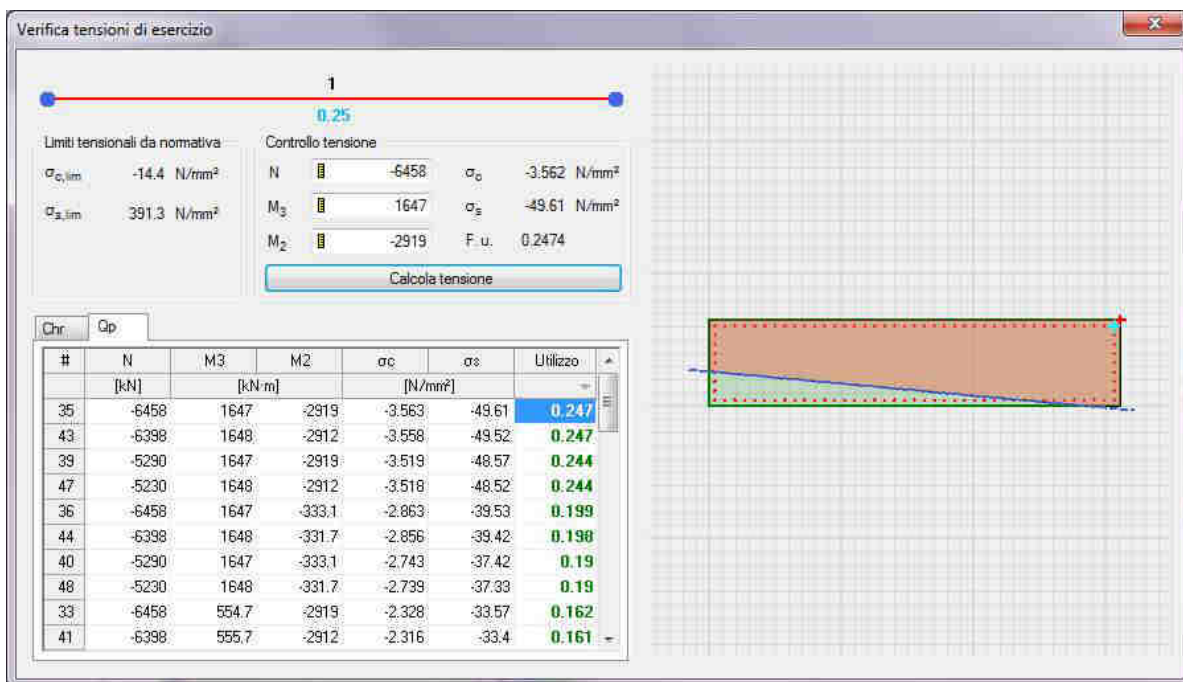


Figura 10-6 – Pila 1: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

10.1.3 Verifica SLE – Fessurazione

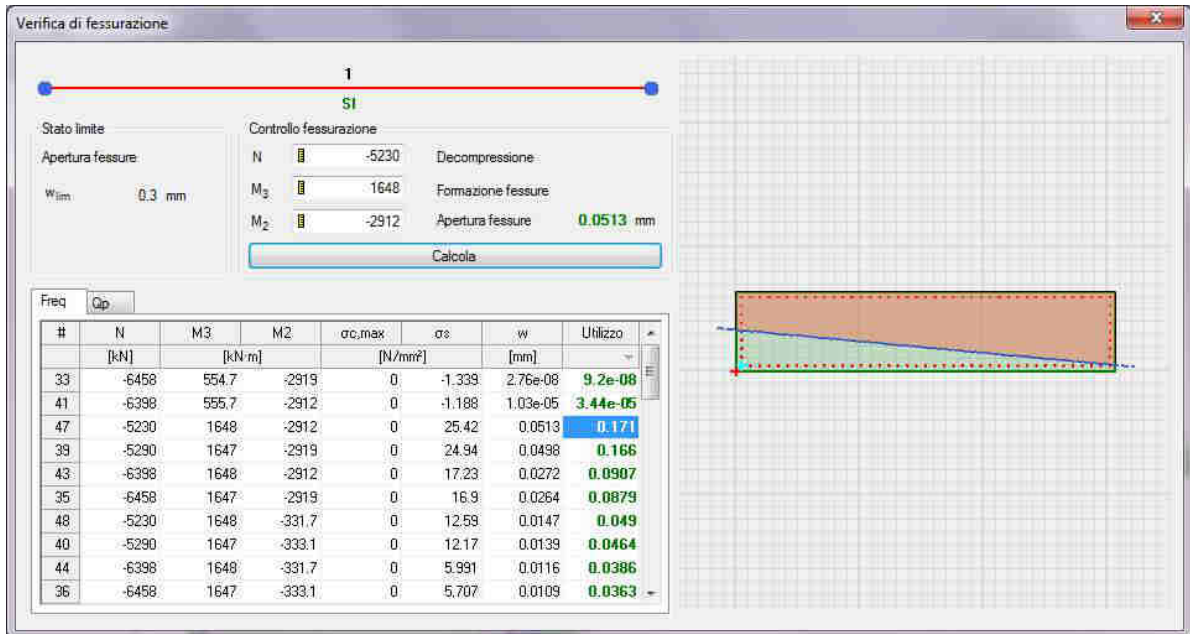


Figura 10-7 – Pila 1: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

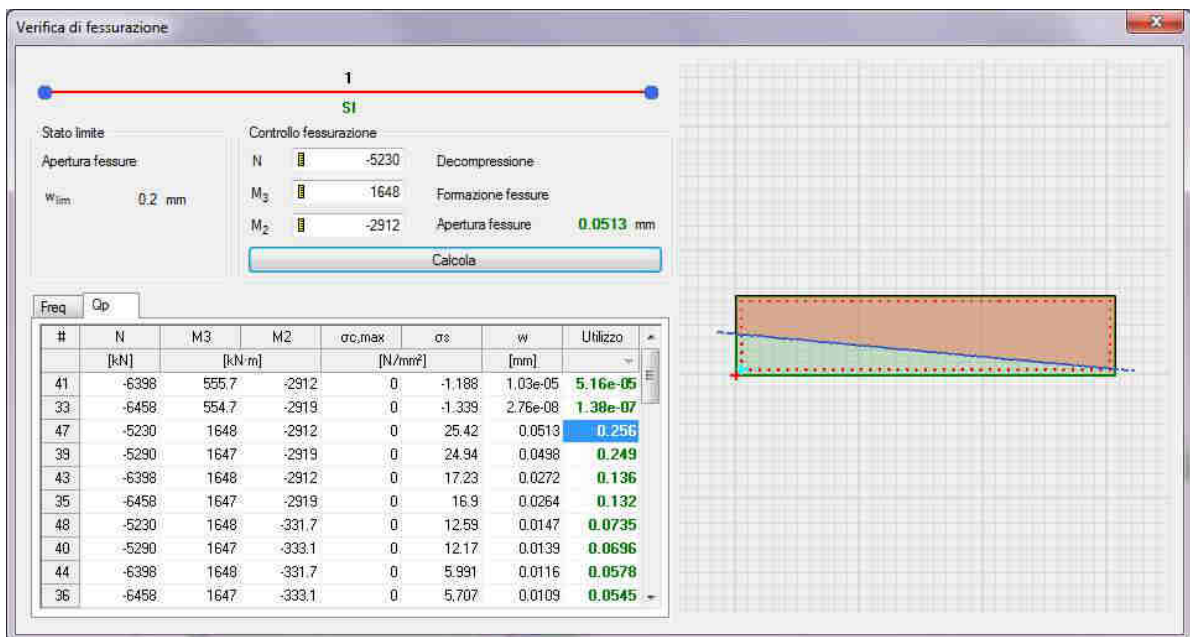


Figura 10-8 – Pila 1: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

10.2 Verifica fondazione

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

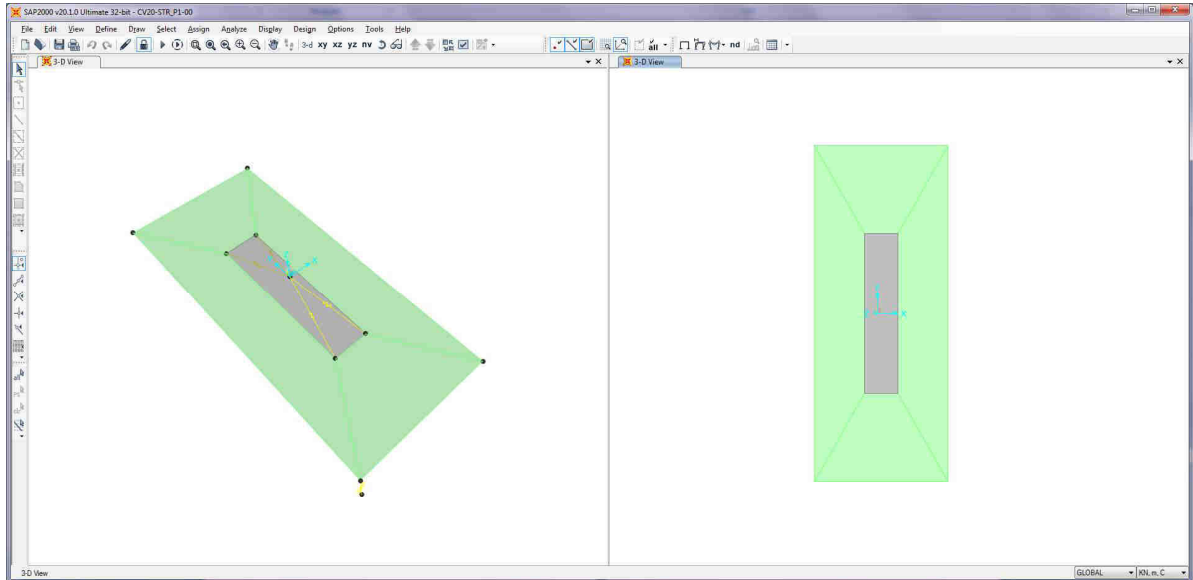


Figura 10-9 – Modello di calcolo

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																																																						
POSIZIONE (NODO I=1 - NODOJ=2)																																																						
CARCHI MOBILI																																																						
<table border="1"> <tr> <td>10101</td> <td>TIPO SPALLA</td> <td>SPALLA</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>MOBILE</td> <td>P1</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td>Min</td> <td>P</td> <td>SP1</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td>Max</td> <td>M2</td> <td>IP1</td> <td colspan="8"></td> </tr> </table>											10101	TIPO SPALLA	SPALLA									1	MOBILE	P1									Min	P	SP1									Max	M2	IP1								
10101	TIPO SPALLA	SPALLA																																																				
1	MOBILE	P1																																																				
Min	P	SP1																																																				
Max	M2	IP1																																																				
Descrizione	CODITYPE	NRIGA	V2=TI [KN]	M3=MI [KNm]	V3=Tt [KN]	M2=Mtr [KNm]	T=Mt [KNm]	P=N [KN]	F	CC																																												
G1-IMPALCATO	0	28	0	360	0	-93	0	-1347	1.000	1.000																																												
G1-SOLETTA	0	44	0	368	0	-95	0	-1378	1.000	1.000																																												
G1-PILA	0	36	0	0	0	0	0	-1169	1.000	1.000																																												
G2-PERMANENTI	0	52	-1	319	-3	-541	19	-1396	1.000	1.000																																												
E1-DISTORSIONI	0	4	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000																																												
E2-RITIRO	0	12	-3	-18	-11	-103	-1	0	1.000	1.000																																												
E4-CEDIMENTI	0	20	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000																																												
Q1-MOBILI-KK	1	194	0	576	1	-3066	6	-1916	1.000	1.000																																												
Q1-MOBILI-FQ	1	98	0	360	0	-1637	6	-1168	1.000	1.000																																												
Q3-FRENATURA	0	252	-1	4	-4	-40	-5	-1	1.000	1.000																																												
Q4-CENTRIFUGA	0	260	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000																																												
Q5-VENTO-C	0	268	-28	-174	-110	-1130	-3	4	1.000	1.000																																												
Q7-ATTRITO-P	0	300	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000																																												
Q6-SISMA_L	0	276	99	450	90	848	26	181	1.000	1.000																																												
Q6-SISMA_T	0	284	326	1865	935	8421	91	45	1.000	1.000																																												
Q6-SISMA_V	0	292	27	114	27	267	24	172	1.000	1.000																																												

DATI PER CALCOLO FONDAZIONI PILE	
Accelerazione al suolo (ag)	0.085
Coefficiente di suolo (S-S ₀ x S ₁)	1.200
k _h = 5 x d _m a _g /g = coefficiente sismico orizzontale	0.103
k _v = 0.5 k _h = coefficiente sismico verticale	0.051
β _{int} = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	1.00
T _{rinter} = Peso rinterro	20.00
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 ---->>	1.010
Accelerazione dir Y ---->>	1.010
Accelerazione dir Z ---->>	0.505
G1-PESO_FONDAZIONE	1.000
G1-PESO_RINTERRO	20.000
Q6-ENERZIA_MASSE_L	1.010
Q6-ENERZIA_MASSE_T	1.010
Q6-ENERZIA_MASSE_V	0.505

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 mm^2/mm , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

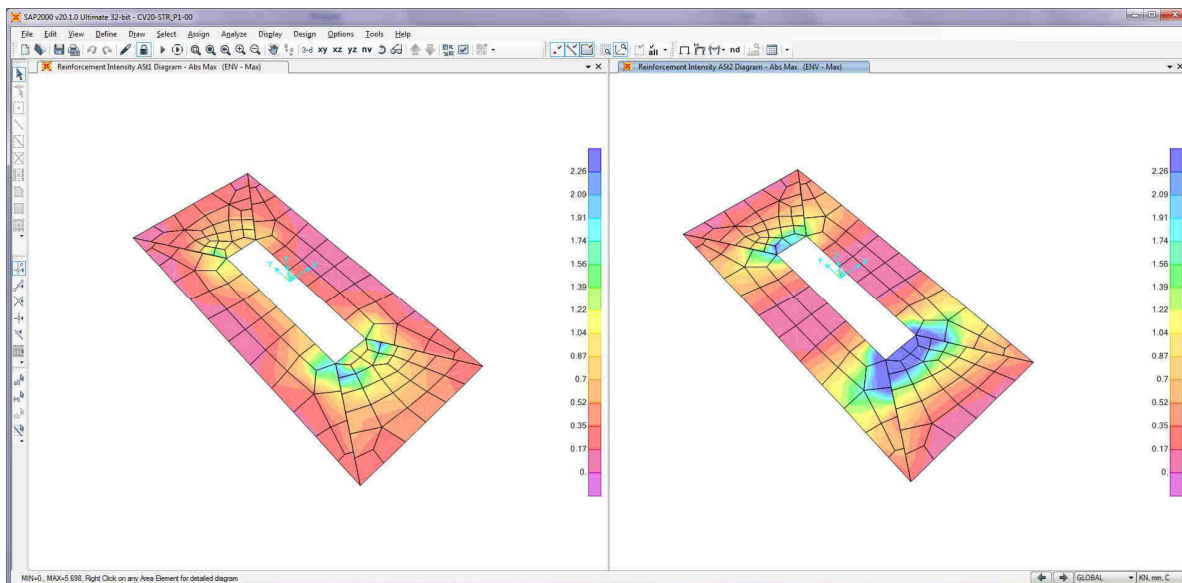


Figura 10-11 – Richiesta di armatura: Ast1_SX e Ast2_DX

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

	Ast1			Ast2		
	passo cm	Φ mm	Area mm^2/mm	passo cm	Φ mm	Area mm^2/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 cinematico di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

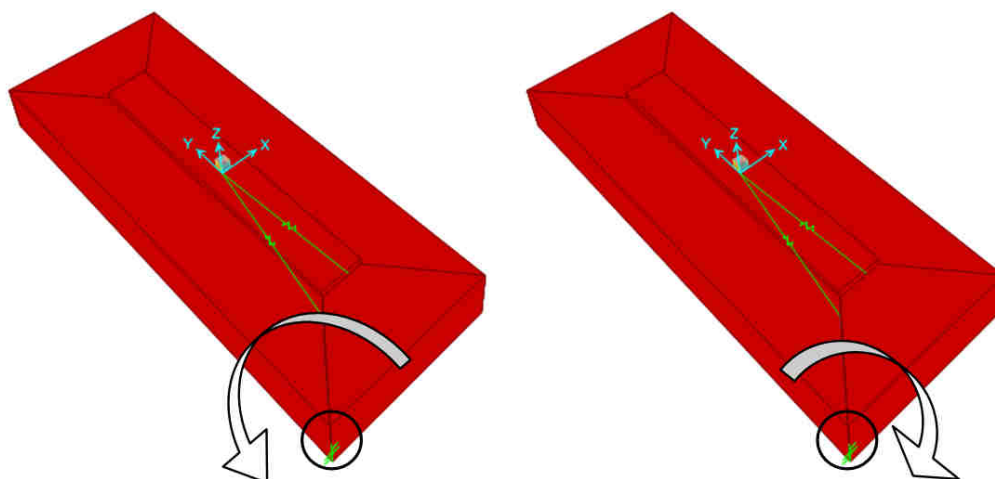


Figura 10-12 – Zattera di fondazione: cinematico di ribaltamento

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_SL1	Combination	405	451	7483	32592	-12485	-1042
1	SLU_SL2	Combination	389	435	7321	31961	-12249	-1008
1	SLU_ST1	Combination	426	1179	7387	26024	-11197	354
1	SLU_ST2	Combination	410	1163	7225	25393	-10960	387
1	SLU_V1	Combination	217	407	7545	33363	-12988	-192
1	SLU_V2	Combination	163	353	7004	31260	-12199	-81
1	VER_RIB_C	Combination	52	199	8844	35557	-15299	176
1	VER_RIB_S	Combination	50	191	6493	29603	-11680	155

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.

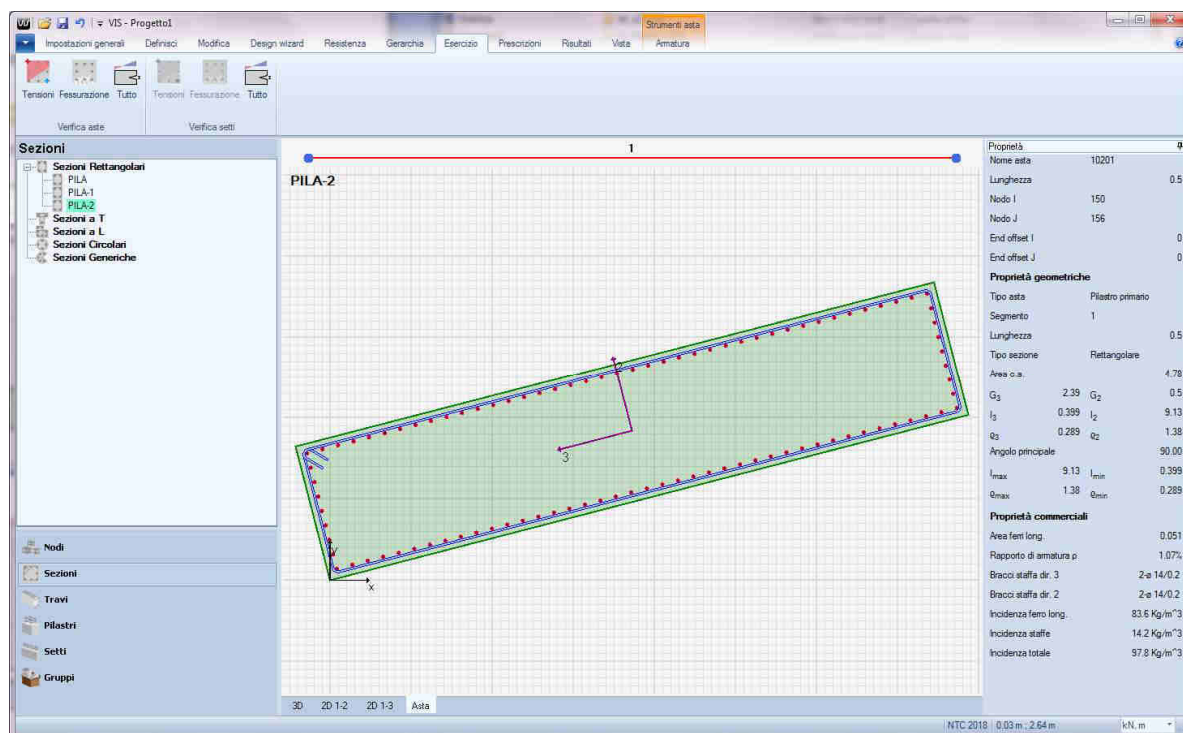


Figura 11-1 – Pila 2: sezione di verifica 7.285 x 1.00 – $\phi 26/10$

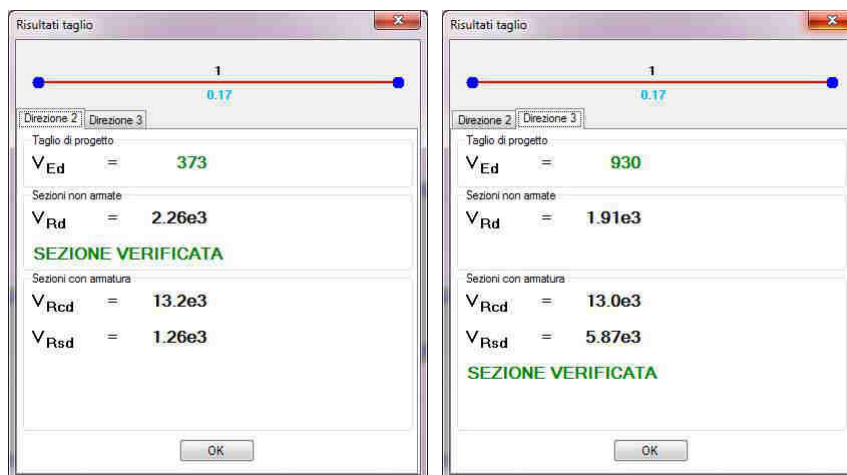


Figura 11-2 – Pila 1: Dettaglio verifiche a taglio (V_2 e V_3) (unità di misura: kN; m; °C)

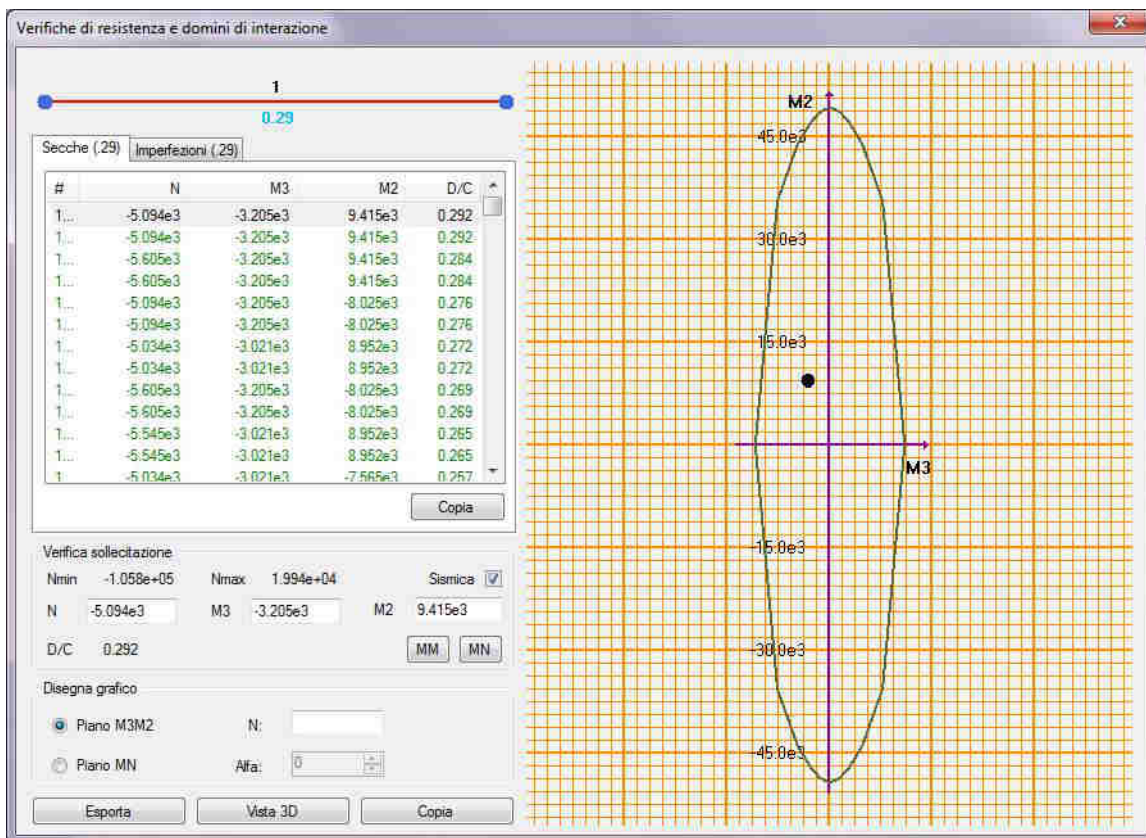


Figura 11-3 – Pila 2: Dettaglio verifica PMM – piano MM (unità di misura: kN; m; °C)

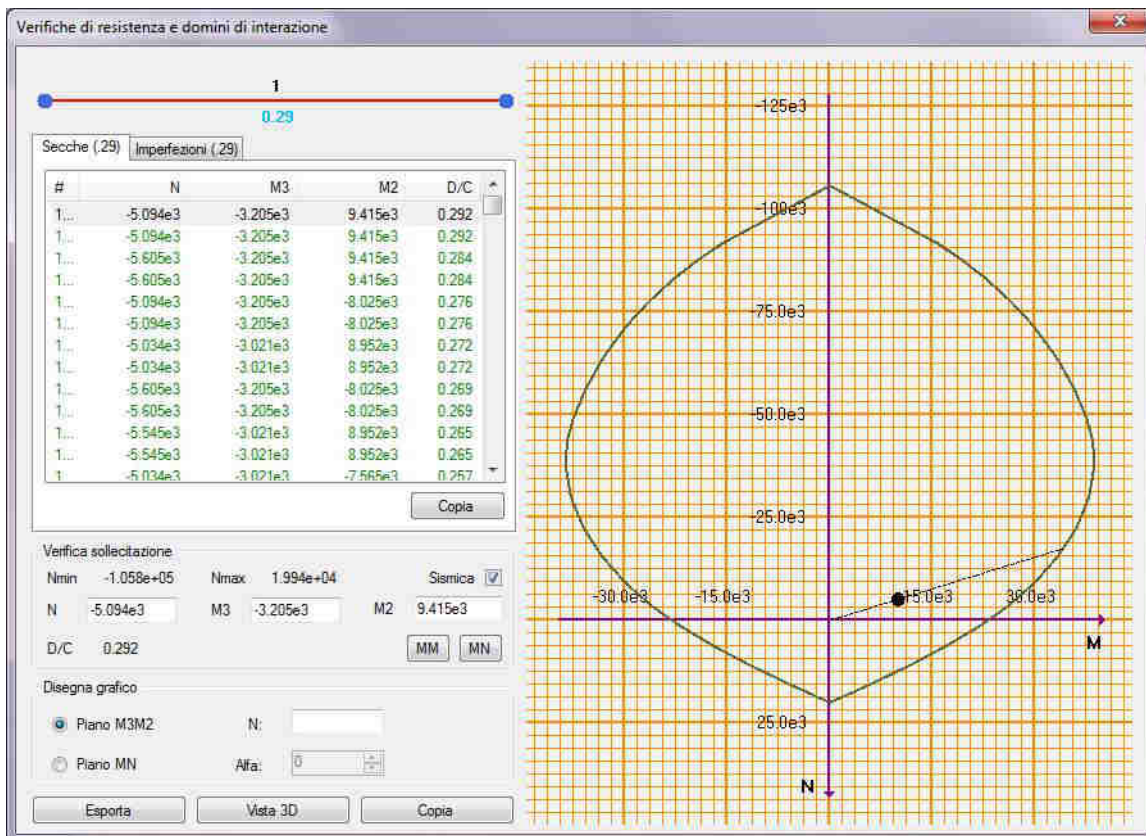


Figura 11-4 – Pila 2: Dettaglio verifica PMM – piano MN (unità di misura: kN; m; °C)

11.1.2 Verifica SLE – Controllo tensioni

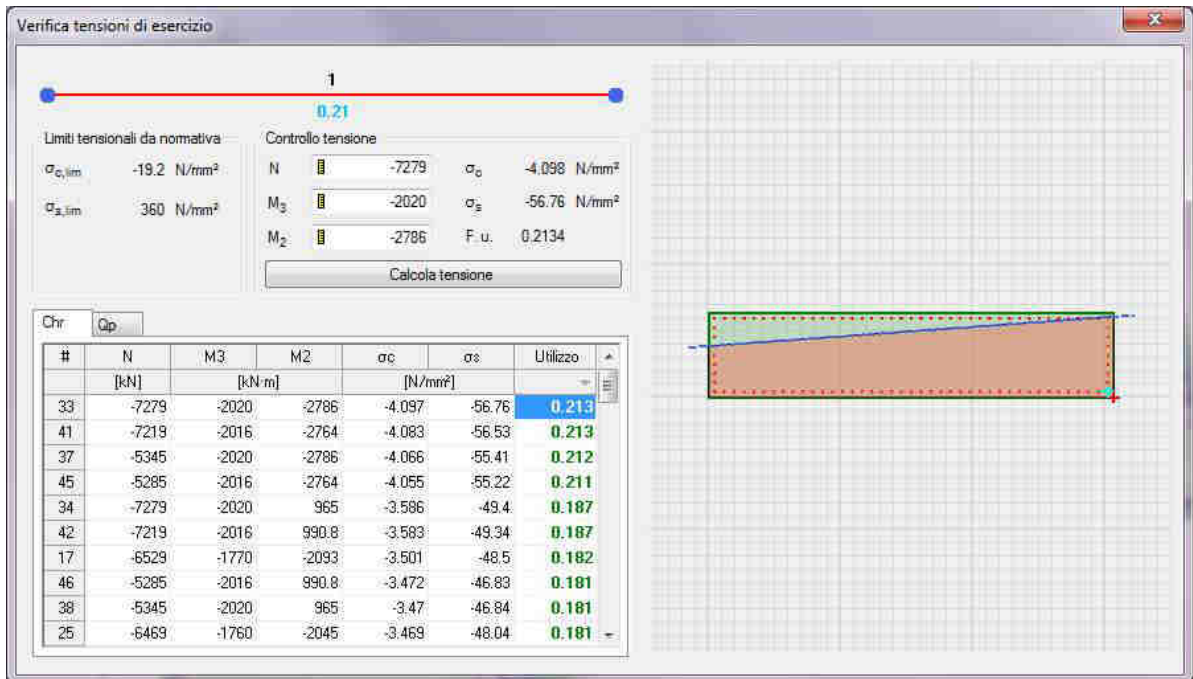


Figura 11-5 – Pila 2: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

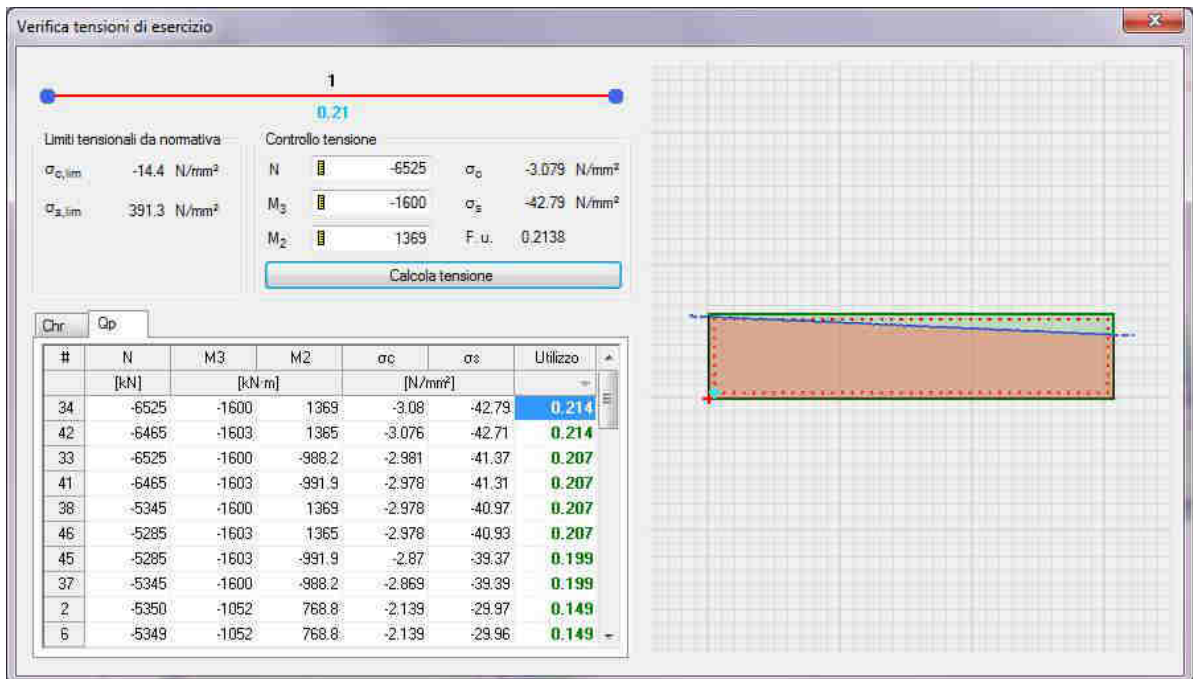


Figura 11-6 – Pila 2: Dettaglio verifica controllo tensioni (unità di misura: kN; m; °C)

11.1.3 Verifica SLE – Fessurazione

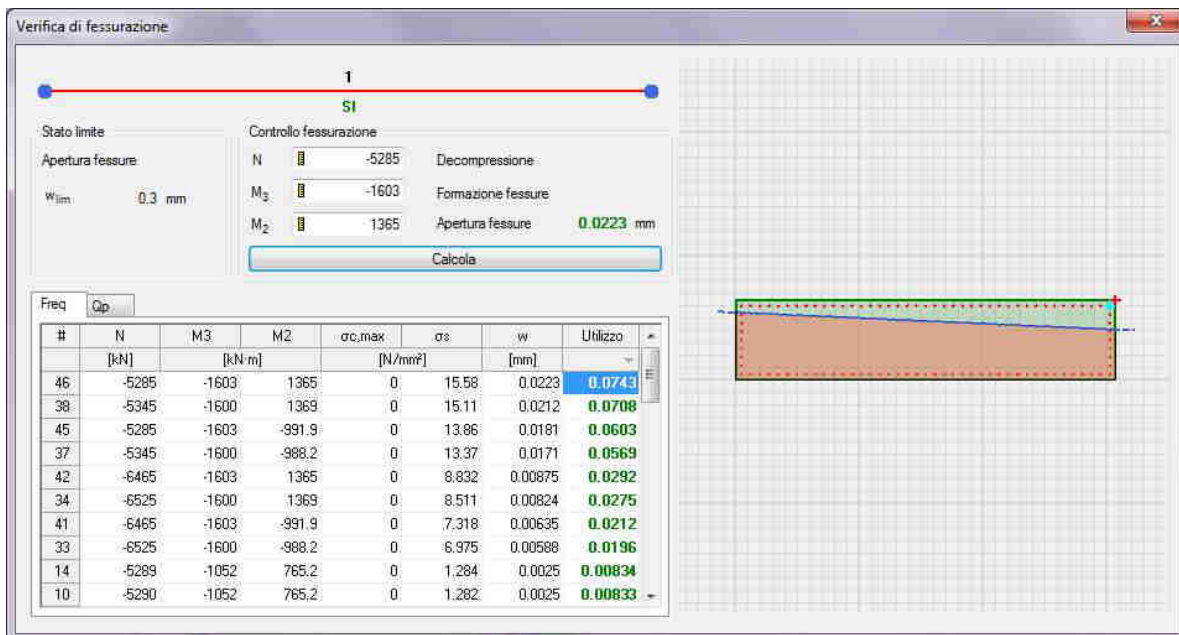


Figura 11-7 – Pila 2: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

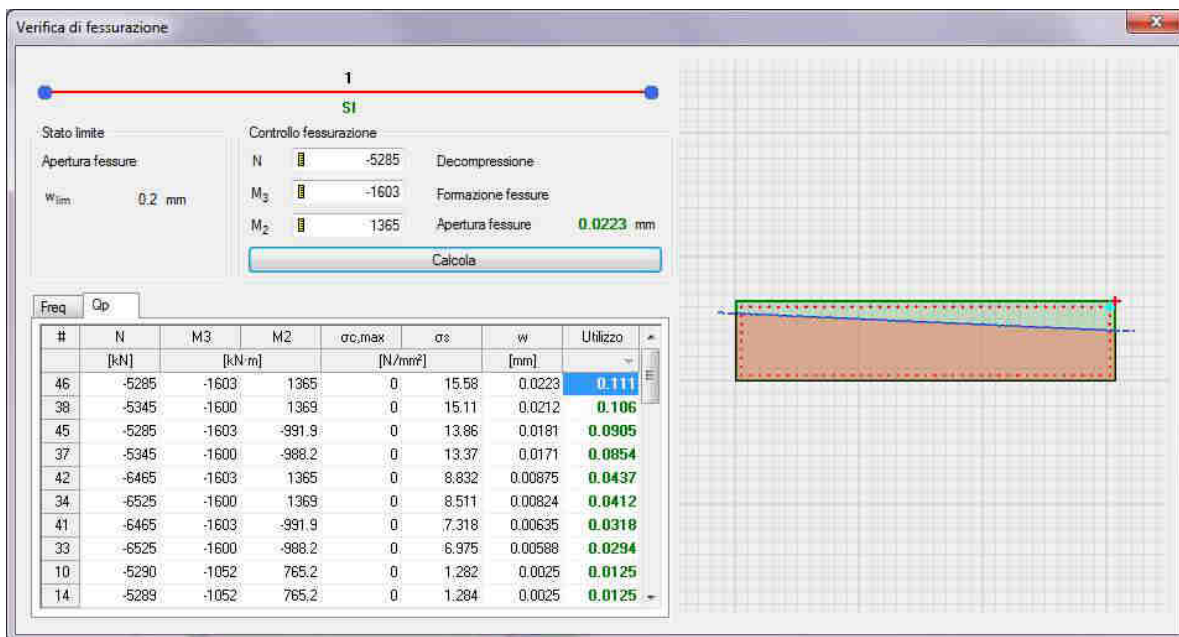


Figura 11-8 – Pila 2: Dettaglio verifica fessurazione (unità di misura: kN; m; °C)

11.2 Verifica fondazione

Si riportano di seguito alcune immagini del modello di calcolo.

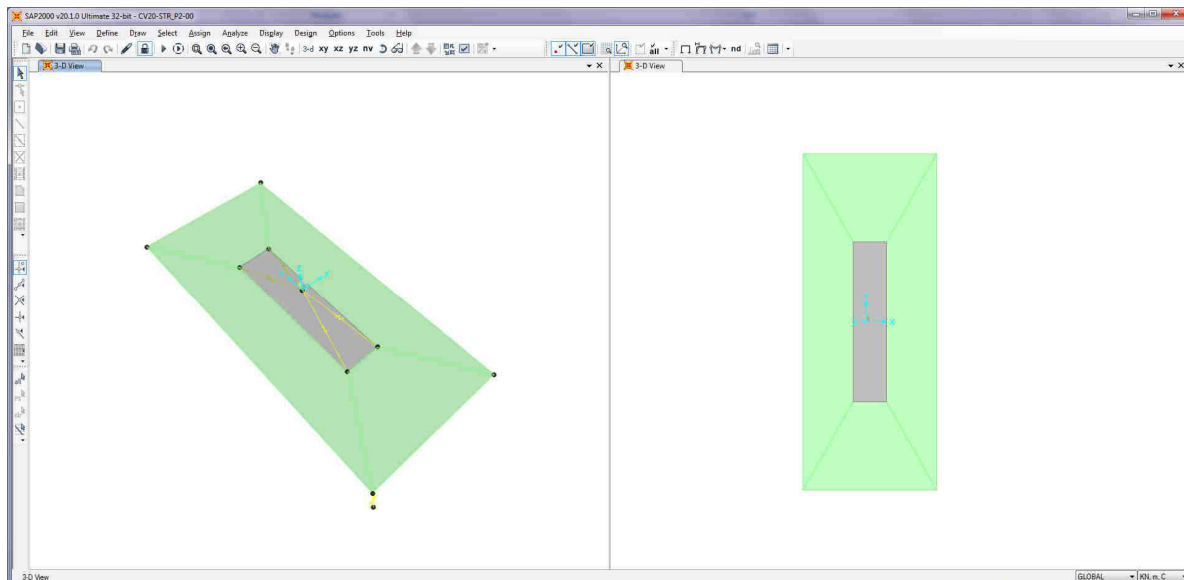


Figura 11-9 – Modello di calcolo

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												
POSIZIONE (NODO I=1 - NODOJ=2)												
CARICHI MOBILI												
Descrizione	CODITYPE	NRIGA	10201		TIPO SPALLA		SPALLA		T=Mt	P=N	F	CC
			V2=Ti	M3=MI	V3=Vt	M2=Mtr	MOBILE	P2				
			[KN]	[KNm]	[KN]	[KNm]	[KN]	[KNm]	[KN]			
G1-IMPALCATO	0	30	0	-360	0	93	0	-1347	1.000	1.000		
G1-SOLETTA	0	46	0	-368	0	95	0	-1378	1.000	1.000		
G1-PILA	0	38	0	0	0	0	0	-1229	1.000	1.000		
G2-PERMANENTI	0	54	2	-310	7	581	-38	-1396	1.000	1.000		
E1-DISTORSIONI	0	6	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000		
E2-RITIRO	0	14	-2	-14	-8	-147	4	1	1.000	1.000		
E4-CEDIMENTI	0	22	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000		
Q1-MOBILI-KK	1	218	7	-144	26	-1937	26	-1926	1.000	1.000		
Q1-MOBILI-FQ	1	122	4	-56	14	-1052	0	-1175	1.000	1.000		
Q3-FRENATURA	0	254	2	-10	6	70	-4	67	1.000	1.000		
Q4-CENTRIFUGA	0	262	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000		
Q5-VENTO-C	0	270	-27	-170	-103	-1105	4	-4	1.000	1.000		
Q7-ATTRITO-P	0	302	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000		
Q6-SISMA_L	0	278	109	506	132	1268	28	546	1.000	1.000		
Q6-SISMA_T	0	286	332	1975	876	8190	77	41	1.000	1.000		
Q6-SISMA_V	0	294	20	90	24	253	24	168	1.000	1.000		

DATI PER CALCOLO FONDAZIONI PILE	
Accelerazione al suolo (ag)	0.085
Coefficiente di suolo (S-S ₀ x S ₁)	1.200
k _h = 5 x b _m a _g /g = coefficiente sismico orizzontale	0.103
k _v = 0.5 k _h = coefficiente sismico verticale	0.051
β _m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	1.00
T _{RI} = Peso rinterro	20.00
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 ---->	1.010
Accelerazione dir Y ---->	1.010
Accelerazione dir Z ---->	0.505
G1-PESO_FONDAZIONE	1.000
G1-PESO_RINTERRO	20.000
Q6-INERZIA_MASSE_L	1.010
Q6-INERZIA_MASSE_T	1.010
Q6-INERZIA_MASSE_V	0.505

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 mm^2/mm , sono rappresentate con diversi colori filtrati sul valore massimo funzione dell'armatura di progetto.

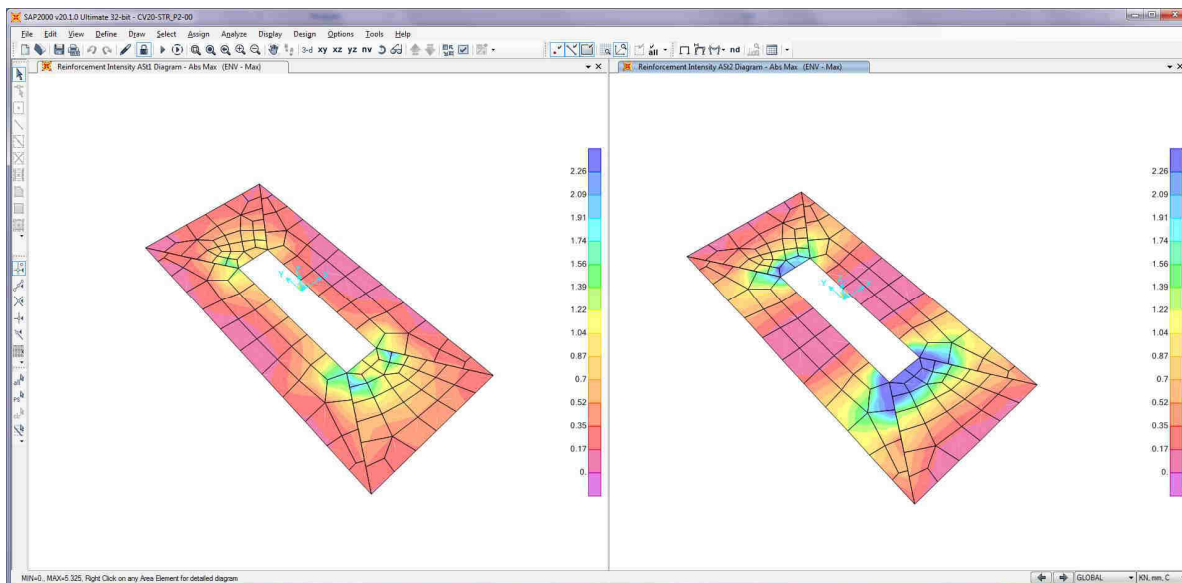


Figura 11-11 – Richiesta di armatura: Ast1_SX e Ast2_DX

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

	Ast1			Ast2		
	passo	Φ	Area	passo	Φ	Area
	cm	mm	mm^2/mm	cm	mm	mm^2/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 cinematico di ribaltamento agente rispetto al nodo illustrato nella seguente immagine.

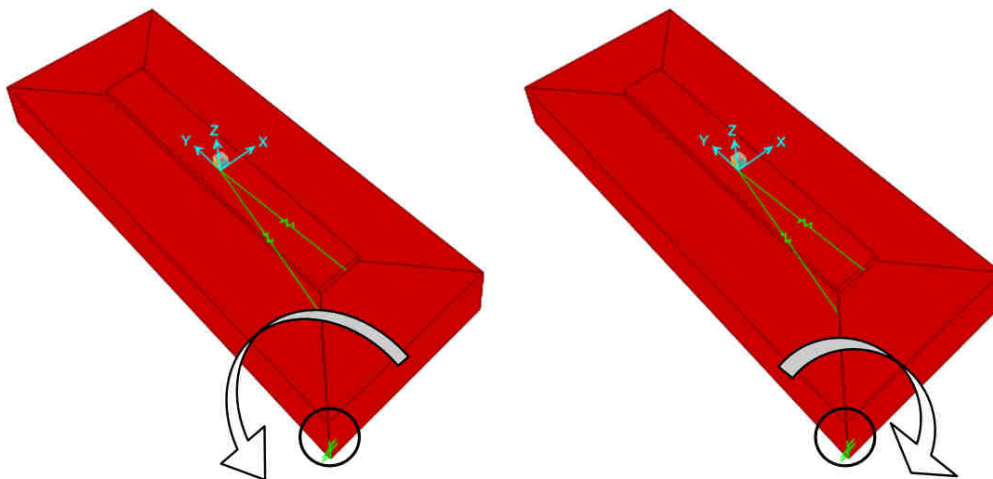


Figura 11-12 – Zattera di fondazione: cinematico di ribaltamento

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_SL1	Combination	415	476	7906	34246	-13252	-1022
1	SLU_SL2	Combination	403	462	7746	33616	-13001	-1005
1	SLU_ST1	Combination	434	1134	7552	26926	-11411	232
1	SLU_ST2	Combination	422	1119	7393	26297	-11160	249
1	SLU_V1	Combination	215	400	7710	34067	-13308	-181
1	SLU_V2	Combination	175	352	7177	31970	-12471	-122
1	VER_RIB_C	Combination	57	219	9029	37880	-16072	323
1	VER_RIB_S	Combination	47	183	6546	29889	-11806	169

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.

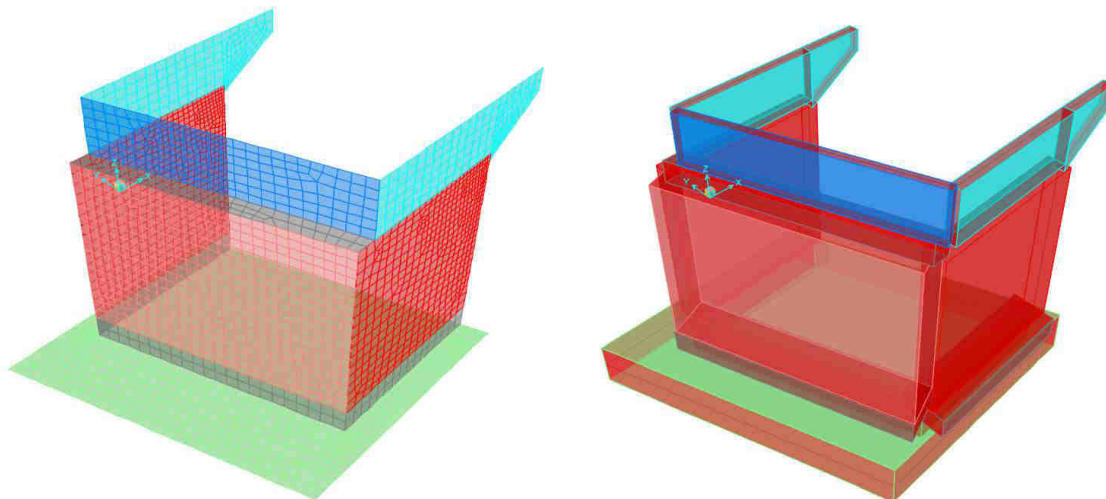


Figura 12-1 – Modello di calcolo

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		V2-Tt [kN]	M2=Mtr [kNm]	T-Mt [kNm]	P-N [kN]	F	CC
	FISSA	SP2	V2-Tt [kN]	M3=MI [kNm]						
Max	C2	P2								
Max										

Descrizione	CODTYPE	NRIGA	V2-Tt [kN]	M3=MI [kNm]	V2-Tt [kN]	M2=Mtr [kNm]	T-Mt [kNm]	P-N [kN]	F	CC
G1-IMPALCATO	0	33	0	0	0	0	0	-364	1.000	1.000
G1-SOLETTA	0	41	0	0	0	0	0	-372	1.000	1.000
G2-PERMANENTI	0	49	0	-16	-6	58	70	-418	1.000	1.000
E1-DISTORSIONI	0	9	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000
E2-RITIRO	0	17	0	-25	20	106	-625	-1	1.000	1.000
E4-CEDIMENTI	0	25	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000
Q1-MOBILI-KK	1	235	0	399	1	-1545	-15	-1180	1.000	1.000
Q1-MOBILI-FQ	1	139	0	263	2	-1017	-28	-816	1.000	1.000
Q3-FRENATURA	0	249	-511	-258	4	10	2	68	-1.000	1.000
Q4-CENTRIFUGA	0	257	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000
Q5-VENTO-C	0	265	0	45	-83	-216	102	8	1.000	1.000
Q7-ATTRITO-P	0	297	-126	0	0	0	0	0	1.000	1.000
Q6-SISMA_L	0	273	-2990	-1487	-35	-96	-97	-360	-1.000	1.000
Q6-SISMA_T	0	281	111	257	392	1066	1221	51	1.000	1.000
Q6-SISMA_V	0	289	-116	-59	-17	-48	-8	-109	-1.000	1.000

DATI PER CALCOLO SPALLE

Accelerazione al suolo
 Coefficiente di suolo (S=S_s x S_i)
 k_s = S x b_s a_g/g = coefficiente sismico orizzontale
 k_v = 0.5 k_s = coefficiente sismico verticale
 β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito
 Spinta su tutta l'altezza (1=si; 0=no)
 Metodo spinta sismica (M=Mononobe; W=Wood)
 K0 (coefficiente di spinta in quiete)
 Ka (coefficiente di spinta attiva)
 Q (variabile a tergo della spalla) KN/mq
 Spalla passante con speroni (1=si; 0=no)
 Spinte statiche ortogonali muri o dir L (1=orto; 0=Long.)
 Rapporto fra lunghezza e spessore paraghiaia
 Rapporto fra lunghezza e spessore paraghiaia
 Dimensione longitudinale del rinterro ai fini del calcolo dell'inerzia sismica
 Dimensione trasversale del rinterro ai fini del calcolo della inerzia sismica
 Rapporto dimensione trasversale / dimensione longitudinale della fondazione
 Geometria della fondazione (1=rettangolare; 0=sghemba)

0.087	verso Kv	1	1.000
1.500	arctg(Kh)/(1±Kv)		0.122
0.131	angolo attr.terra-muro		
0.065	angolo parete	90.0	1.571
1	angolo terreno	0.0	0.000
1	angolo attrito	35.0	0.611
M	K _{Mononobe-Okabe}		0.242
0.426	K _{Mononobe-Okabe totale}		0.354
0.271	Peso terreno di spinta	18	18
20	Peso rinterro	18	18
0	K Wood		0.131
1	Angolo inclinazione spalla	14.5	0.3
4.99	Frenatura paragh.	240.0	240.0
23.097	Altezza rinterro		10.00
9.37	Diametro pali		1.00
8.96	Lunghezza elastica dei pali		5.00
0.95	Scalzamento		0.00
0	CLS / Modulo elastico CLS pali	28	3.23E+07

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			4.723	1.626				
U1_O_MURO				8.528			0.000	21.309			
T1_P_MURO			0.000	0.000		6.089	2.096				
U1_P_MURO							0.000	27.472			
T1_O_PARA			7.676			4.723	1.626				
U1_O_PARA				8.528			0.000	21.309			
T1_P_PARA			0.000	0.000		28.161	9.693				
U1_P_PARA							0.000	127.060			
T1_O_FOND			7.676			4.878	1.679				
U1_O_FOND				8.528			0.000				
T1_P_FOND			0.000	0.000		0.000	0.000				
U1_P_FOND							0.000				
T1_SPERONI			0.000			0.000	0.000				
U1_SPERONI				0.000			0.000				
T1_BANDIERE			7.676								
U1_BANDIERE_P				8.528				21.047			
U1_BANDIERE_N				8.528					21.047		
Z1_RINTERRO		180.000									11.745
L1_FRENATURA					240.000						

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

12.2 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 mm^2/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.

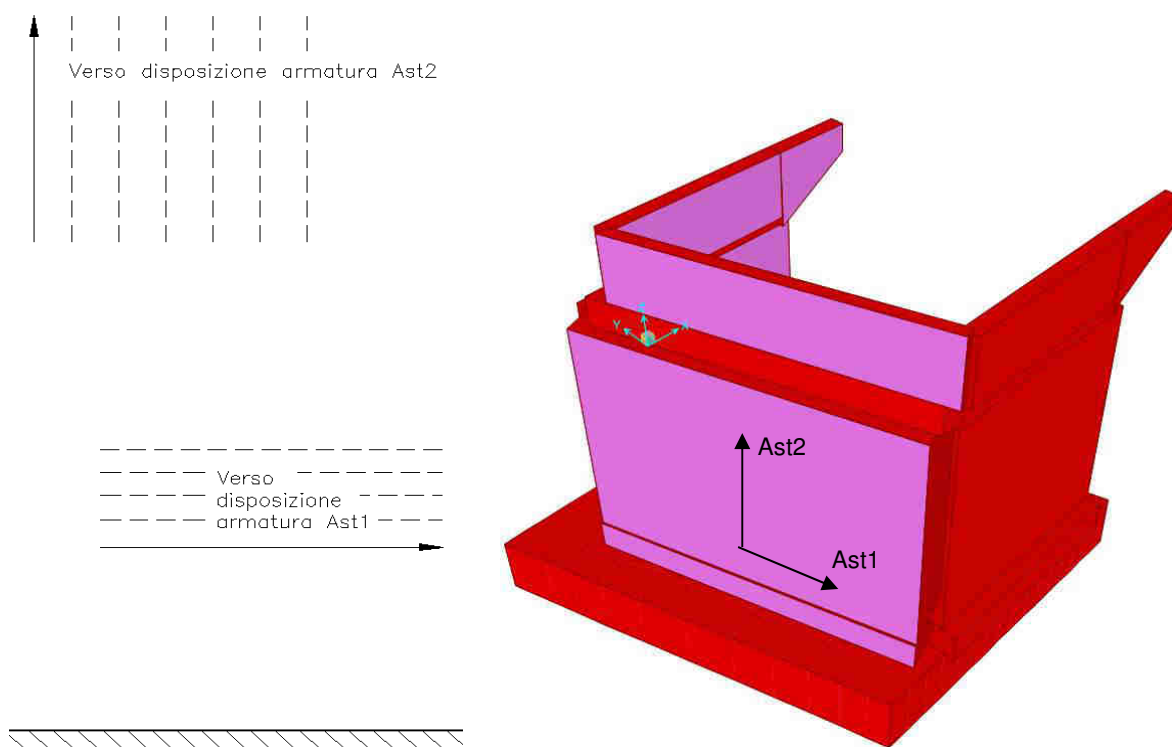


Figura 12-3 – Richiesta di armatura elevazione: convenzioni

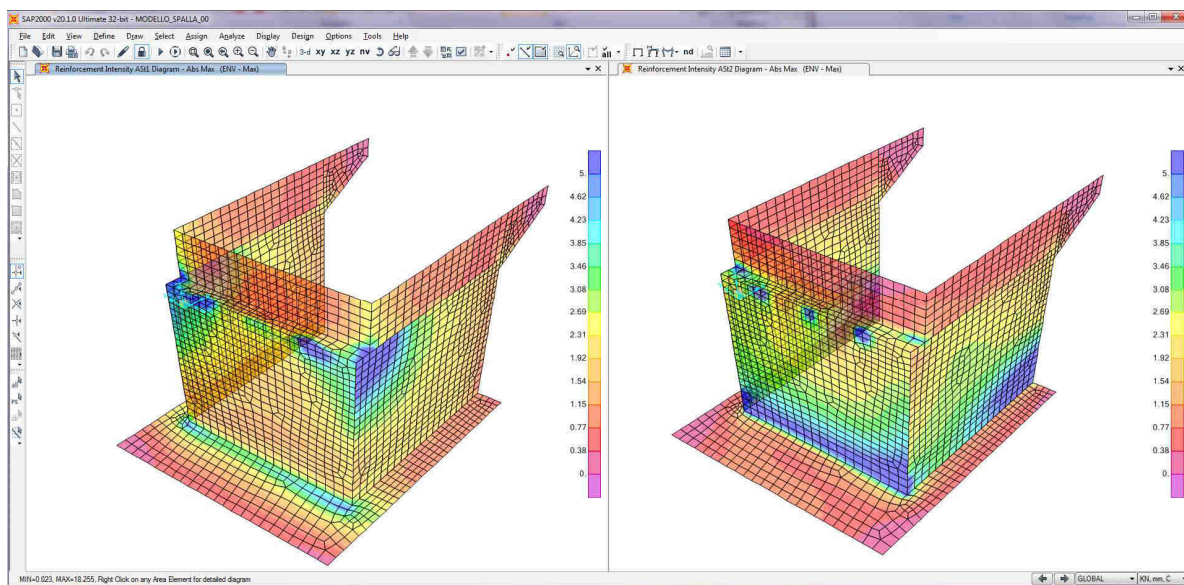


Figura 12-4 – Richiesta di armatura: Ast1 (sinistra) e Ast2 (destra)

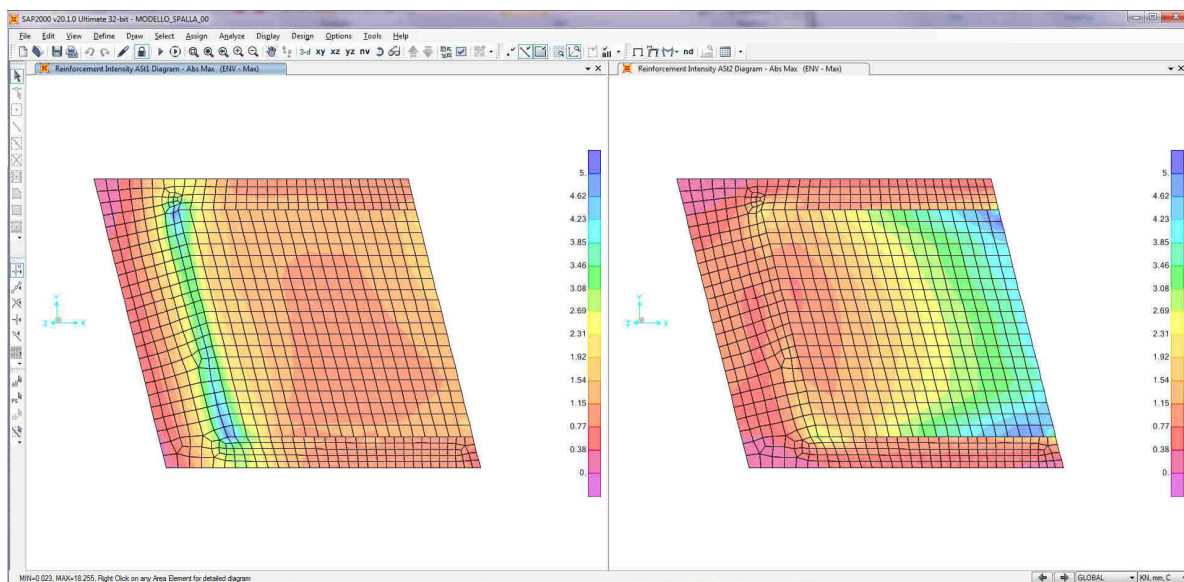


Figura 12-5 – Richiesta di armatura: Ast1 (sinistra) e Ast2 (destra) – dettaglio fondazione

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

	Ast1			Ast2		
	passo	Φ	Area	passo	Φ	Area
	cm	mm	mm ² /mm	cm	mm	mm ² /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.

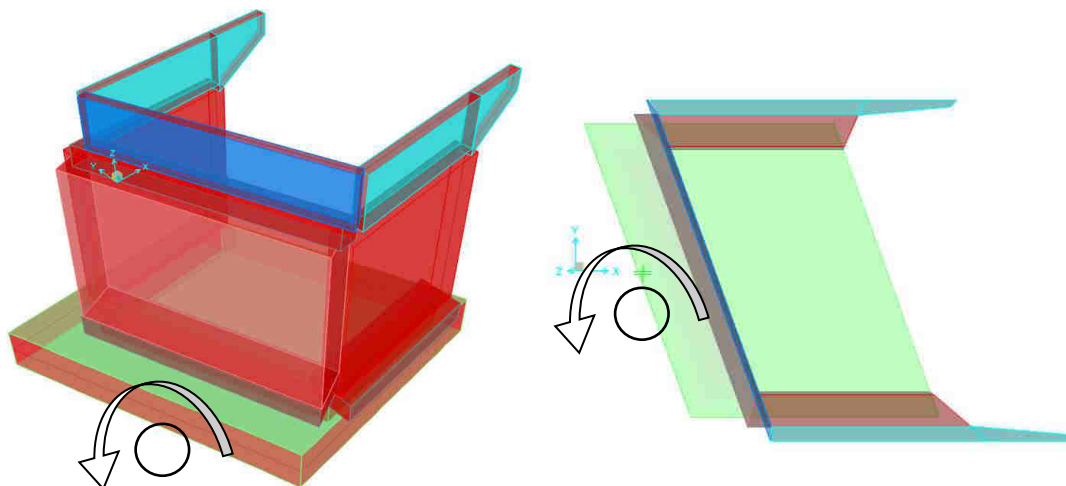


Figura 12-6 – Zattera di fondazione: cinematismo di ribaltamento

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	10845	-3285	28983	-38413	-115948	764
1	SLU_SL2	Combination	11313	-1195	28948	-48604	-114119	16073
1	SLU_ST1	Combination	4987	-4499	28909	-34689	-153771	-16849
1	SLU_ST2	Combination	6549	2466	28795	-68659	-147672	34181
1	SLU_V1	Combination	5638	-2065	30148	-49124	-158594	-527
1	SLU_V2	Combination	6107	25	30114	-59315	-156764	14782
1	SLU_SL1_V-	Combination	10755	-3281	27886	-36233	-109984	701
1	SLU_SL2_V-	Combination	11224	-1191	27852	-46424	-108155	16010
1	SLU_ST1_V-	Combination	4898	-4496	27812	-32508	-147807	-16912
1	SLU_ST2_V-	Combination	6459	2470	27698	-66479	-141708	34118
1	SLU_V1_V-	Combination	5340	-2052	26493	-41855	-138714	-738
1	SLU_V2_V-	Combination	5809	37	26458	-52046	-136884	14571
1	VER_RIB_C	Combination	9962	-308	27164	-53054	-107966	26495
1	VER_RIB_S	Combination	9151	-138	25442	-49825	-114955	25932
1	VER_RIB_V	Combination	8279	-82	23969	-48544	-120656	25075

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.