

S.G.C. E78 GROSSETO-FANO

Tratto Siena Bettolle (A1)

Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena-Ruffolo (Lotto 0)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI-81

R.T.I. di PROGETTAZIONE: Mandataria Mandante



PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Alberto Rinaldi – Erre.vi.a. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16951

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Enrico Moretti – Erre.vi.a. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16237

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Raffaele Franco Carso

PROTOCOLLO

DATA



06 - Opere d'arte

06.03 Opere d'arte maggiori - Ponti rami svincoli

06.03.01 - Ponte Torrente Tressa rampa Gr-Fi Svincolo Cerchiara (PO.01)

Relazione di calcolo impalcato

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00V13STRRE01A.pdf		
DPFI0081	D	20	CODICE ELAB. T00V13STRRE01	A	-
D					
C					
B					
A	Emissione		Ottobre 2020	PISTONE	MARTIGNONI RINALDI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	1
1.1	Descrizione dell'intervento.....	1
1.2	Inquadramento geografico.....	2
1.3	Inquadramento geologico e geomorfologico.....	2
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	3
2.1	Elaborati a carattere generale	3
2.2	Elaborati specifici	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3.1	Normativa tecnica di riferimento	5
3.1.1	Materiali	5
3.1.2	Costruzioni in c.a. e acciaio.....	5
3.1.2.1	Eurocodice 0 - "Criteri generali di progettazione strutturale".....	5
3.1.2.2	Eurocodice 1 - "Azioni sulle strutture".....	5
3.1.2.3	Eurocodice 2 - "Progettazione delle strutture in calcestruzzo".....	5
3.1.2.4	Eurocodice 3 - "Progettazione delle strutture in acciaio".....	5
3.1.2.5	Eurocodice 4 - "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo".....	6
3.1.3	Geotecnica.....	6
3.1.3.1	Eurocodice 7 - "Progettazione geotecnica"	6
3.1.4	Sismica	6
3.1.4.1	Eurocodice 8 - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica"	6
3.2	Normativa tecnica nazionale	6
3.3	Bibliografia e altri riferimenti	6
4	MATERIALI	8
4.1	Acciaio per carpenteria metallica.....	8
4.1.1	Elementi saldati in acciaio	8
4.2	Calcestruzzo	8
4.2.1	Calcestruzzo per soletta impalcato – C35/45.....	8
4.3	Acciaio per calcestruzzo armato.....	8
4.3.1	Acciaio in barre per calcestruzzo armato – B450C	8
4.4	Durabilità dei materiali.....	8
4.4.1	Conglomerati cementizi.....	8
5	CRITERI DI CALCOLO	10
5.1	Descrizione criteri di calcolo	10
5.2	Software di calcolo	11
5.2.1	Calcolo strutture generiche.....	11
5.2.2	Verifica sezioni miste acciaio-calcestruzzo.....	11
6	CRITERI DI VERIFICA	12
6.1	Combinazioni di carico	12
6.2	Verifica di resistenza Stati Limite Ultimi strutturali (SLU STR)	13
6.2.1	Elementi in cemento armato.....	13
6.2.1.1	Verifica a presso/tenso flessione.....	13
6.2.1.2	Verifica a taglio	13
6.2.2	Elementi in acciaio	14
6.2.2.1	Verifica a pressoinflessione e instabilità piattabande.....	14
6.2.2.2	Verifica all'instabilità per taglio dell'anima	14
6.2.2.3	Verifiche delle connessioni trave-soletta	15

6.2.2.4	Verifica delle unioni bullonate.....	15
6.3	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio elementi in c.a.	16
6.3.1	Verifiche agli Stati Limite di Fessurazione	16
6.4	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio elementi in acciaio.	17
6.4.1	Limitazione delle tensioni	17
6.4.2	Instabilità dei pannelli d'anima.....	17
6.4.3	Verifiche delle connessioni trave-soletta.....	17
7	ANALISI STATICHE IMPALCATO	18
7.1	Descrizione analisi strutturale.....	18
7.1.1	Fase 1	18
7.1.2	Fase 2.....	18
7.1.3	Fase 3.....	19
7.2	Coefficienti di omogeneizzazione	19
7.3	Larghezza di soletta collaboranti	20
7.4	Rigidezze flessionali.....	21
7.5	Traversi.....	24
7.6	Vincoli	25
7.7	Geometria modello.....	26
8	ANALISI DEI CARICHI STATICI.....	27
8.1	Fase 1	27
8.1.1	Impalcato metallico.....	27
8.1.2	Soletta in c.a.	27
8.2	Fase 2.....	28
8.2.1	Permanenti non strutturali	28
8.2.2	Ritiro	29
8.3	Fase 3.....	32
8.3.1	Azioni variabili da traffico veicolare.....	32
8.3.2	Azioni variabili da vento.....	37
8.3.3	Azioni termiche.....	39
8.4	Azioni di frenamento.....	39
8.5	Azione accidentale mezzi per verifiche a fatica	40
9	COMBINAZIONI DI CARICO ANALISI STATICA.....	41
10	SOLLECITAZIONI ANALISI STATICA	42
11	ANALISI DINAMICHE IMPALCATO	47
11.1	Azione Sismica.....	47
11.1.1	Stati limite di progetto sismici	47
11.1.2	Spettri di risposta	48
11.2	Masse efficaci e variabilità del moto sismico	52
11.3	Analisi dinamica modale con spettro di risposta di progetto.....	54
11.4	Combinazione delle risposte modali	57
12	VERIFICHE IMPALCATO METALLICO.....	58
12.1	Generalità	58
12.2	Resistenza delle sezioni SLU	58
12.3	Verifiche travi longitudinali.....	60
12.3.1	Rapporti di sfruttamento resistenza SLU	60
12.3.2	S.L.E. - limitazione delle tensioni – rapporti di sfruttamento.....	63
12.3.3	Rapporti di sfruttamento SLE FR "web breathing"	64
12.4	Verifica connessione trave/soletta	65
12.4.1	Caratteristiche piolatura	68
12.4.2	Rapporti di sfruttamento verifica elastica SLU - SLE	68
12.5	Verifica diaframmi	71
13	VERIFICHE DI DEFORMABILITA'	77

14	CONTROMONTA DI MONTAGGIO	78
15	REAZIONI NEGLI APPOGGI.....	80
16	ANALISI E VERIFICHE SOLETTA	82
16.1	Schema statico.....	82
16.1.1	Schemi di carico.....	82
16.1.2	Larghezze collaboranti	82
16.1.3	Effetto dei carichi permanenti	84
16.1.4	Effetti dei carico da traffico	85
16.1.5	Vento	86
16.1.6	Urto del veicolo in svio	88
16.2	Combinazioni di verifica	90
16.2.1	Fattori di combinazione	90
16.2.2	Risultati analisi	91
16.2.3	Riepilogo sollecitazioni di verifica	92
16.3	Verifiche strutturali soletta	93
16.3.1	Verifiche a pressoflessione SLU - SLE	93
16.3.2	Verifiche a taglio SLU.....	96
17	INCIDENZA ARMATURE IN SOLETTA.....	97
18	ALLEGATI DI CALCOLO.....	98

1 PREMESSA

La presente relazione tratta gli aspetti tecnico-stradali legati all'intervento in oggetto che riguarda la progettazione definitiva dell'adeguamento, da due a quattro corsie, del tronco stradale della SS n. 223 "di Paganico" nel tratto compreso tra lo svincolo con la Tangenziale Ovest di Siena (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle), comprensivo degli svincoli di inizio e fine intervento, al fine di realizzare un'arteria assimilabile ad una strada di tipo extraurbano principale (tipo B, a carreggiate separate - v. D.M. 05/11/2001), garantendo la continuità dell'Itinerario Internazionale E78 - S.G.C. "Grosseto - Fano".

1.1 Descrizione dell'intervento

L'impalcato oggetto della presente relazione è realizzato in sezione mista, composta da travi in acciaio, solidarizzate ad una soletta d'estradosso in c.a. e collegate in direzione trasversale da traversi reticolari nel piano verticale.

L'impalcato si sviluppa su di una campata di 52m e presenta un andamento rettilineo.

Il sistema di vincolo è realizzato in schema tradizionale isostatico con punto fisso sulla spalla 2, tutti gli appoggi sono a disco elastomerico confinato in acciaio-teflon.

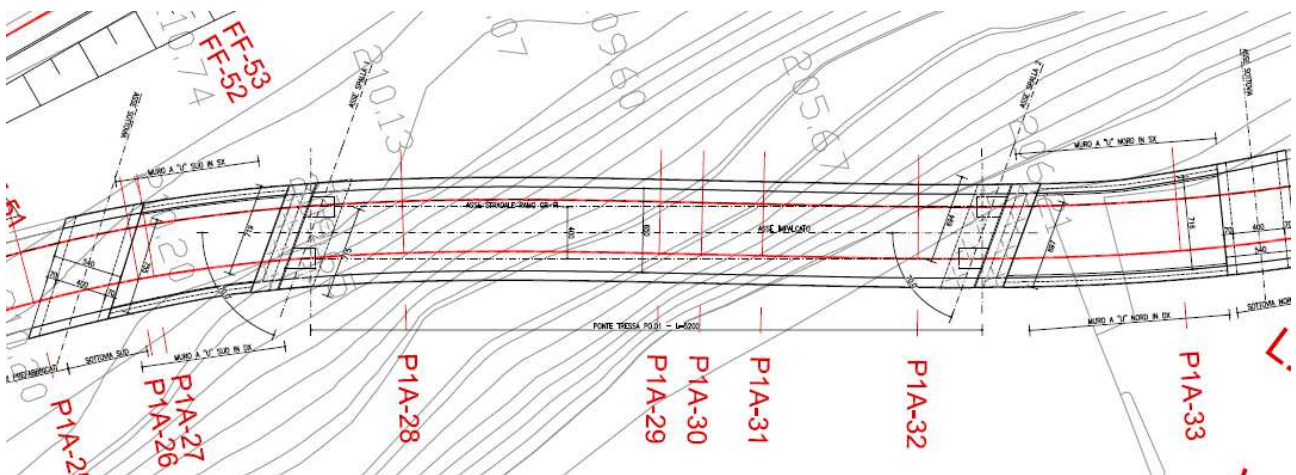


Figura 1: Pianta generale

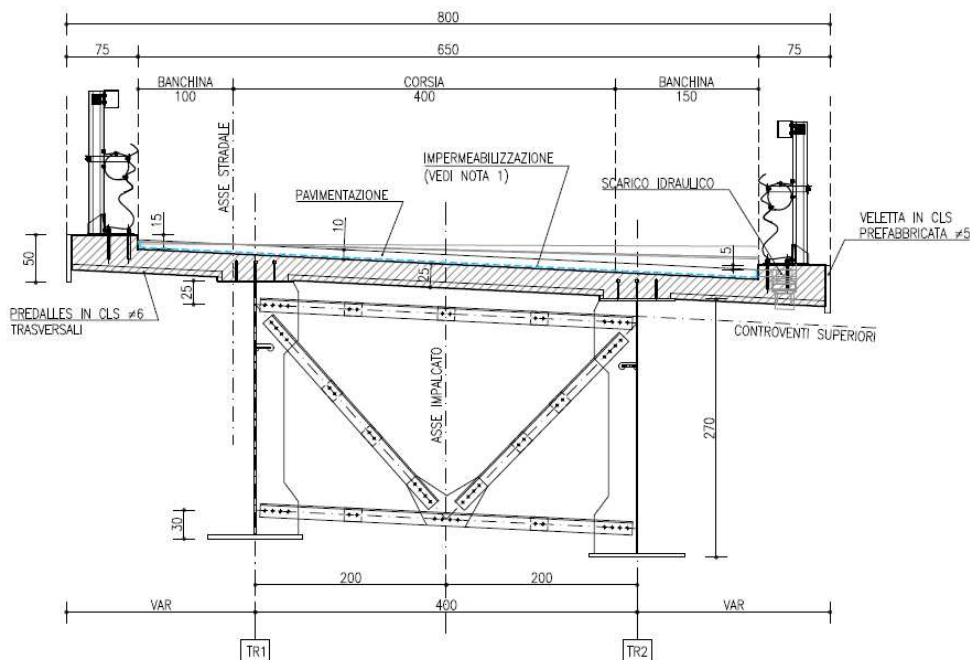


Figura 2: Sezione tipica impalcato

1.2 Inquadramento geografico

L'area di intervento è situata nel Comune di Siena in prossimità dello svincolo Cerchiaia.

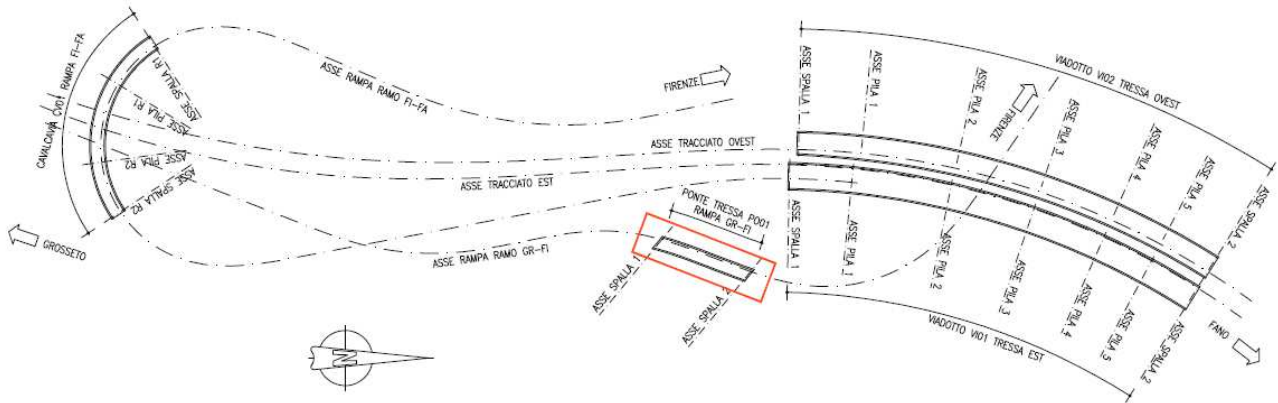


Figura 3: Planimetria generale dello Svincolo Cerchiaia e ubicazione impalcato

1.3 Inquadramento geologico e geomorfologico

In merito a tali aspetti si rimanda al [1] indicato negli elaborati di riferimento riportati a seguire.

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 Elaborati a carattere generale

- [1] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Geologia e geotecnica – Geologia – Relazione geologica e idrogeologica – Elaborato: T00GE01GEORE01A
- [2] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Geologia e geotecnica – Geotecnica – Relazione geotecnica generale – Elaborato: T00GE04GETRE01A
- [3] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Geologia e geotecnica – Sismica – Relazione sismica – Elaborato: T00GE05GETRE02A

2.2 Elaborati specifici

- [4] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Generale – Tabella materiali – Elaborato: T00GE00STRDC01A
- [5] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Opere d'arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Relazione di calcolo impalcato – Elaborato: T00VI15STRRE01A
- [6] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Opere d'arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Planimetria impalcato, fondazioni, sezione longitudinale e trasversale – Elaborato: T00VI15STRDI01A
- [7] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Opere d'arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Carpenteria impalcato – Tav.1 – Elaborato: T00VI15STRCP01A
- [8] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Opere d'arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Carpenteria impalcato – Tav.2 – Elaborato: T00VI15STRCP02A
- [9] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Opere d'arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Predalles impalcato – Elaborato: T00VI15STRCP03A
- [10] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Opere d'arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Carpenteria spalla – Elaborato: T00VI15STRCP04A
- [11] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d'arte – Opere d'arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Carpenteria pile – Elaborato:

T00VI15STRCP05A

- [12] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d’arte – Opere d’arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Schema di vincoli, appoggi, giunti, dettagli e finiture – Elaborato: T00VI15STRDC01A
- [13] E78 Grosseto Fano – Tratto Siena – Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0) – Progetto definitivo – Opere d’arte – Opere d’arte maggiori – Ponti rami svincoli – Viadotto Rampa Gr-Si Svincolo Ruffolo (VI.11) – Metodi costruttivi (Fasi costruttive, sistemi di varo, interferenze con sottoservizi, controllo falda) – Elaborato: T00VI15STRDI02A

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 Normativa tecnica di riferimento

3.1.1 Materiali

- [14] UNI EN 206-1 marzo 2006 – “Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- [15] UNI EN 197-1 marzo 2006 – “Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”;
- [16] UNI EN 197-2 marzo 2001 – “Cemento - Valutazione della conformità”;
- [17] UNI 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1”;
- [18] Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 07/02/2003 – “Linee guida per il calcestruzzo strutturale, Linee guida per il calcestruzzo strutturale ad alta resistenza, Linee guida per il calcestruzzo preconfezionato”;
- [19] Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 05/04/2013 – “Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive”;
- [20] D.M. 16/02/2007 – “Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione”;
- [21] “Regolamento UE n°305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio”

3.1.2 Costruzioni in c.a. e acciaio

3.1.2.1 *Eurocodice 0 - “Criteri generali di progettazione strutturale”*

- [22] UNI EN 1990:2006;

3.1.2.2 *Eurocodice 1 - “Azioni sulle strutture”*

- [23] UNI EN 1991-1-1:2004 – “Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”;
- [24] UNI EN 1991-1-2:2004 – “Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco”;
- [25] UNI EN 1991-1-3:2004 – “Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve”;
- [26] UNI EN 1991-1-4:2005 – “Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento”;
- [27] UNI EN 1991-1-5:2004 – “Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche”;
- [28] UNI EN 1991-2:2005 – “Parte 2: Carichi da traffico sui ponti”;

3.1.2.3 *Eurocodice 2 - “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”*

- [29] UNI EN 1992-1-1:2005 – “Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- [30] UNI EN 1992-1-2:2005 – “Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio”;
- [31] UNI EN 1992-2:2006 – “Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi”;

3.1.2.4 *Eurocodice 3 - “Progettazione delle strutture in acciaio”*

- [32] UNI EN 1993-1-1:2005 – “Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- [33] UNI EN 1993-1-2:2005 – “Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio”;
- [34] UNI EN 1993-1-5:2007 – “Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra”;
- [35] UNI EN 1993-1-8:2005 – “Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti”;
- [36] UNI EN 1993-1-9:2005 – “Parte 1-9: Fatica”;
- [37] UNI EN 1993-1-10:2005 – “Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore”;
- [38] UNI EN 1993-2:2007 – “Parte 2: Ponti di acciaio”;

[39] UNI EN 1993-3-1:2007 – “Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere - Torri e pali”;

[40] UNI EN 1993-5:2007 – “Parte 5: Pali e palancole”

3.1.2.5 Eurocodice 4 - “Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo”

[41] UNI EN 1994-1-1:2005 – “Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;

[42] UNI EN 1994-1-2:2005 – “Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio”;

[43] UNI EN 1994-2:2006 – “Parte 2: Regole generali e regole per i ponti”;

3.1.3 Geotecnica

3.1.3.1 Eurocodice 7 - “Progettazione geotecnica”

[44] UNI EN 1997-1:2005 – “Parte 1: Regole generali”;

3.1.4 Sismica

3.1.4.1 Eurocodice 8 - “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”

[45] UNI EN 1998-1:2005 – “Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;

[46] UNI EN 1998-2:2009 – “Parte 2: Ponti”;

[47] UNI EN 1998-5:2003 – “Parte 5: Fondazioni, opere di sostegno e geotecniche”

3.2 Normativa tecnica nazionale

[48] D.M. Min. Il. TT. 17/02/2018 – “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”;

[49] Circolare LL.PP. n°7 21/01/2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 febbraio 2018”;

[50] CNR DT 207/2008 - “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”;

[51] D.M. 31/07/2012 – “Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici”;

[52] D.P.R. n°380 06/06/2001 – “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia”;

3.3 Bibliografia e altri riferimenti

[53] Lancellotta R. [1991] “Geotecnica” – Edizioni Zanichelli.

[54] Migliacci – F. Mola – “Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.” - Masson Italia Editori 1985

[55] C. Cestelli Guidi - “Geotecnica e tecnica delle fondazioni” - Ulrico Hoepli Editore 1987

[56] R. Lancellotta – “Geotecnica” - Edizioni Zanichelli 1987

[57] Bowles J.E.: “Foundations Analysis and Design” 4th edition - McGraw-Hill – New York, 1988

[58] Bustamante M., Gianceselli L. [1982] - "Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT" -.Pr. of the 2th European symposium on penetration testing, Amsterdam.

[59] H.G. Poulos, E.H. Davis. “Analisi e progettazione di fondazioni su pali”;

[60] S. Rampello, L. Callisto L. Masini. “Spinta delle terre sulle strutture di sostegno”;

[61] L.C. Reese, W.R.Cox, F.D. Koop [1974] - "Analysis of laterally loaded piles in sand" – Paper N° OCT 2080, Proceedings, Fifth Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1975;

[62] L.C. Reese, W.R.Cox, F.D. Koop [1975] - "Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay" – Paper N° OCT 2313, Proceedings, Seventh Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1975;

[63] L.C. Reese, R.C. Welch [1975] - "Lateral loading of deep foundations in stiff clay" – Journal of the geotechnical Division, ASCE, Vol. 101, No GT7, Proceedings Paper 11456, 1975, pp. 633 – 649.

- [64] R.C. Welch, L.C. Reese [1972] - "Laterally loaded Behavior of drilled shafts" – Research Report N° 3-5-65-89, conducted for Texas Highway Department and U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Bureau of Public Roads, by Center for Highway Research, The University of Austin.

4 MATERIALI

4.1 Acciaio per carpenteria metallica

4.1.1 Elementi saldati in acciaio

Classe	S355		
Tensione caratteristica di rottura	f_u	510	MPa
Tensione caratteristica di snervamento	f_y	355	MPa

4.2 Calcestruzzo

4.2.1 Calcestruzzo per soletta impalcato – C35/45

Classe minima	C32/40		
Classe di esposizione ambientale	XC4-XF4		
Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 gg	R_{ck}		MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = R_{ck} \cdot 0.83 =$	37,35	MPa
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	45,35	MPa
Modulo elastico	$E_c = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} =$	34625	MPa
Valore medio di resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	3,35	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	2,35	MPa

Stato limite ultimo

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_C =$	1,5	
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{CC} =$	0,85	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{CC} \cdot f_{ck} / \gamma_C =$	21,17	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1,57	MPa
Valore ultimo della deformazione a compressione	$\epsilon_{cu} =$	3,5	%

Stato limite di esercizio

Tensione max di compressione – Comb. Rara	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} =$	22,41	MPa
Tensione max di compressione – Comb. Quasi	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} =$	16,81	MPa

4.3 Acciaio per calcestruzzo armato

4.3.1 Acciaio in barre per calcestruzzo armato – B450C

Classe	B450C		
Tensione caratteristica di rottura a trazione	f_{tk}	≥ 540	MPa
Tensione caratteristica di snervamento a trazione	f_{yk}	≥ 450	MPa
Modulo elastico	$E_s =$	210000	MPa

Stato limite ultimo

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s =$	1.15	
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa
Valore ultimo della deformazione a trazione	$\epsilon_{cu} =$	10	%

Stato limite di esercizio

Tensione max di trazione	$\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa
--------------------------	----------------------------------	--------	-----

4.4 Durabilità dei materiali

4.4.1 Conglomerati cementizi

Le classi di esposizione e le conseguenti limitazioni sulla composizione del calcestruzzo sono state ricavate ai sensi della normativa UNI EN 206-1 e UNI 11104, delle istruzioni contenute nella C.M. n°7 per l'applicazione delle [48].

A seconda dell'esposizione ambientale, per opere con $V_N = 50$ anni la circolare al punto C4.1.6.1.3 impone il rispetto dei limiti di copriferro riportati nella tabella successiva e, per strutture con $V_N = 100$ anni, una maggiorazione di copriferro pari a $\Delta c_{min} = +10$ mm. Per classi di resistenza inferiori a C_{min} i valori sono da aumentare di $\Delta c_{min} = +5$ mm. Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di $\Delta c_{min} = -5$ mm.

A tali valori di tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a $\Delta c_{dev} = +10$ mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità.

Tabella 1: Copriferri minimi in mm ($V_N = 50$ anni)

C_{min}	C_0	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 2: Condizioni ambientali e classi di esposizione

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	XF0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Soletta impalcato

- Classe di esposizione

Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti XF4

Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare

- Condizioni ambientali Molto aggressive
- Requisiti minimi calcestruzzi

Rapporto acqua/cemento < 0.45
 Classe di resistenza > C28/35
 Dosaggio cemento > 340 kg/m³

- Copriferro nominale netto:

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta c_{min} + \Delta c_{dev} = 40 + 0 + 0 = 40 \text{ mm} \rightarrow c = 40 \text{ mm}$$

5 CRITERI DI CALCOLO

5.1 Descrizione criteri di calcolo

Le opere oggetto della presente relazione sono state progettate e calcolate secondo i metodi della scienza delle costruzioni, adottando per le verifiche il criterio degli stati limite (S.L.).

I criteri generali di sicurezza, le azioni di calcolo e le caratteristiche dei materiali sono stati assunti in conformità con il D.M. 17.02.2018 – “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” e relativa circolare esplicativa (Circolare 21.01.2019 n. 7/C.S.LL.PP.).

Con riferimento alle NTC, per le opere in oggetto si considerano i seguenti parametri di calcolo:

Vita nominale	$V_N = 50$ anni (§ 2.4.1 “Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari”)
Classe d’uso	II (§ 2.4.2, “Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l’ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.”)
Coefficiente d’uso	$C_U = 2.0$
Periodo di riferimento	$V_R = V_N \cdot C_U = 100$ anni

5.2 Software di calcolo

Sono stati utilizzati i programmi di calcolo elencati nel seguito.

La scrivente ha esaminato preliminarmente la documentazione a corredo dei software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. Tale documentazione, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati.

Il sottoscritto, inoltre, ha verificato l'affidabilità dei codici di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

5.2.1 Calcolo strutture generiche

Titolo:



Caratteristiche: Programma di calcolo strutturale agli elementi finiti che esegue il calcolo di strutture spaziali composte da elementi mono e/o bidimensionali anche con non linearità di materiale o con effetti dinamici

Autore: G + D Computing Pty Limited - Sidney NSW 2000 Australia

Distribuzione: HSH srl - Padova Italia

Versione: 2.4.6

5.2.2 Verifica sezioni miste acciaio-calcestruzzo

Titolo:

Caratteristiche: Software per il calcolo di sezioni miste acciaio-calcestruzzo per impalcati da ponte

Autore: Alhambra srl – Terni, Italia

Versione: 3.3.0

6 CRITERI DI VERIFICA

6.1 Combinazioni di carico

Le opere oggetto della presente relazione Come riportato al §2.5.3 delle [48], si sono considerate le seguenti combinazioni delle azioni:

$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \sum_{j=3}^n \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione fondamentale SLU
$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \sum_{j=3}^n \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione caratteristica rara SLE
$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione frequente SLE
$G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione quasi permanente SLE
$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione sismica SLE e SLU
$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione eccezionale SLU
G_1	Masse dei pesi propri strutturali
G_2	Masse dei carichi permanenti non strutturali
P	Precompressione e pretensione
Q_{ki}	Masse dei carichi accidentali
E	Azione sismica
A_d	Azione eccezionale

I coefficienti di contemporaneità delle azioni e i coefficienti parziali da adottare per gli SLU sono riportati nel seguito.

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

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

6.2 Verifica di resistenza Stati Limite Ultimi strutturali (SLU STR)

6.2.1 Elementi in cemento armato

Come riportato al §2.3 delle [48], per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

$$E_d = E(\gamma_F \cdot F_k; X_k/\gamma_M; a_d)$$

$$R_d = R(\gamma_F \cdot F_k; X_k/\gamma_M; a_d)$$

$$\gamma_F \cdot F_k$$

$$X_k/\gamma_M$$

$$a_d$$

$$\gamma_M$$

Valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

Valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

Azioni di progetto

Proprietà del materiale di progetto

Geometria di progetto

Coefficiente parziale di sicurezza del materiale

6.2.1.1 Verifica a presso/tenso flessione

Come previsto al §4.1.2.1.2.4 delle [48] con riferimento alla generica sezione, la verifica di resistenza allo SLU si esegue controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

$$M_{Rd}$$

Valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed}

$$N_{Ed}$$

Valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale)

$$M_{Ed}$$

Valore di calcolo della componente flettente dell'azione

6.2.1.2 Verifica a taglio

Secondo quanto previsto §4.1.2.1.3 delle [48], indicato con V_{Ed} il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente allo SLU, si verifica in generale che risulti:

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

Elementi senza armature resistenti a taglio

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left(0,18 \cdot k \cdot \frac{\sqrt{100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}}}{\gamma_c} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\} \quad \text{Resistenza di calcolo a taglio}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot \sqrt{k^3} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

Rapporto percentuale armatura in zona tesa A_{sl}

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd}$$

Tensione media di compressione nella sezione

d

Altezza utile della sezione (mm)

b_w

Larghezza minima della sezione (mm)

Elementi provvisti di armature resistenti a taglio

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$$

Resistenza di calcolo a taglio

$$V_{Rd,s} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

Resistenza a taglio-trazione

$$V_{Rd,max} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(\cot \alpha + \cot \theta)}{1 + \cot^2 \theta}$$

Resistenza a taglio-compressione

θ

Inclinazione puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento ($1 \leq \cot \theta \leq 2.5$)

α

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento

A_{sw}

Area dell'armatura trasversale

s

Interasse tra due armature trasversali consecutive

$$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$$

Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

α_c

Coefficienti maggiorativi pari a:

1

per membrature non compresse

$$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$$

per $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 \cdot f_{cd}$

1.25

per $0.25 \cdot f_{cd} \leq \sigma_{cp} < 0.50 \cdot f_{cd}$

$$2.5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$$

per $0.50 \cdot f_{cd} \leq \sigma_{cp} < f_{cd}$

6.2.2 Elementi in acciaio

I criteri per la verifica della resistenza delle sezioni sono riportati nelle NTC 2018 al §4.2., §4.3 e relative istruzioni, l'Eurocodice EN 1993-1-1, EN1993-1-5, EN 1993-2, EN1994-1-1, EN 1994-2. Nell'ambito dei vari S.L. considerati, si effettuano, a livello sezionale, le seguenti verifiche, per ulteriori dettagli si rimanda al capitolo delle verifiche dell'impalcato.

6.2.2.1 Verifica a pressoinflessione e instabilità piattabande

La sezione in acciaio viene classificata a seconda della geometria e il calcolo viene svolto allo stato plastico o elastico a seconda della classificazione. Nell'ambito del calcolo tensionale, la soletta viene considerata "cracked" (non reagente) all'atto dell'annullamento della tensione di compressione valutata in corrispondenza della fibra media. Contestualmente all'annullamento della soletta, si annullano anche le sollecitazioni da ritiro primario.

6.2.2.2 Verifica all'instabilità per taglio dell'anima

Per sezioni soggette a "shear buckling" viene valutato il coefficiente di riduzione X_w , e

PO.01 – Relazione di calcolo impalcato

14

successivamente valutato il taglio resistente $V_{b,Rd}$ come somma dei contributo resistenti dell'anima $V_{bw,Rd}$ e, se applicabile, delle flange $V_{bf,Rd}$.

6.2.2.3 Verifiche delle connessioni trave-soletta

Si rimanda al capitolo delle verifiche di impalcato.

6.2.2.4 Verifica delle unioni bullonate

Secondo quanto riportato nelle NTC 2018 al §4.2.8.1.1 e §4.2.4.1.2, devono essere effettuate le seguenti verifiche:

- Resistenza a taglio del gambo dei bulloni
- Resistenza a rifollamento degli elementi da unire
- Resistenza a trazione dei bulloni
- Resistenza a punzonamento del piatto collegato
- Verifiche combinate taglio-trazione

Resistenza a taglio del gambo dei bulloni

La resistenza di calcolo a a taglio $F_{v,Rd}$ del gambo dei bulloni di classe 10.9 è assunta pari a:

$$F_{v,Rd} = 0.5 \cdot \frac{f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

f_{tb} resistenza a rottura dell'acciaio del bullone
 A_{res} area resistente del bullone
 $\gamma_{M2} = 1.25$ coefficiente di sicurezza

Resistenza a rifollamento degli elementi da unire

La resistenza di calcolo a rifollamento $F_{b,Rd}$ del piatto dell'unione bullonata è assunta pari a:

$$F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot \frac{f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

d diametro nominale del gambo del bullone
 t spessore della piastra collegata
 f_{tk} resistenza a rottura dell'acciaio della piastra collegata

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{tb}}{f_{tk}}; 1 \right\} \quad \text{per i bulloni di bordo}$$

$$= \min \left\{ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0.25; \frac{f_{tb}}{f_{tk}}; 1 \right\} \quad \text{per i bulloni interni}$$

$$k = \min \left\{ 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right\} \quad \text{per i bulloni di bordo}$$

$$= \min \left\{ 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right\} \quad \text{per i bulloni interni}$$

Resistenza a trazione dei bulloni

La resistenza di calcolo a trazione $F_{t,Rd}$ degli elementi di connessione è assunta pari a:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}}$$

Resistenza a punzonamento del piatto collegato

La resistenza di calcolo a punzonamento $B_{p,Rd}$ del piatto collegato è assunta pari a:

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

d_m minimo tra il diametro del dado ed il diametro medio della testa del bullone
 t_p spessore del piatto
 f_{tk} resistenza a rottura dell'acciaio del piatto

Verifiche combinate taglio-trazione

Nel caso di presenza combinata di taglio e trazione si può adottare la formula di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

$F_{v,Ed}$ sollecitazione di taglio sull'unione
 $F_{t,Ed}$ sollecitazione di trazione sull'unione
 $F_{v,Rd} = \text{Min}(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})$ resistenza a taglio dell'unione
 $F_{t,Rd} = \text{Min}(B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$ resistenza a trazione dell'unione

6.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio elementi in c.a.

Come riportato al §6.2.4.3 e §5.1.4.2 del [48], la verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale. Si dovrà verificare che sia:

$E_d \leq C_d$
 $E_d = E(\gamma_F \cdot F_k; X_k / \gamma_M; \alpha_d)$ Valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
 $C_d = C(\gamma_F \cdot F_k; X_k / \gamma_M; \alpha_d)$ Valore nominale o funzione di certe proprietà dei materiali legate agli effetti progettuali delle azioni considerate

Le verifiche agli SLE si risolvono nel controllare che i valori di tensione nei materiali siano inferiori ai limiti di normativa.

Calcestruzzo compresso
 Combinazione rara $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$
 Combinazione quasi permanente $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$
 Acciaio teso
 Combinazione rara $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$

6.3.1 Verifiche agli Stati Limite di Fessurazione

Viene eseguita la verifica allo stato limite di apertura delle fessure con riferimento al §4.1.2.2.4 del [48]. Prima di procedere alle verifiche a fessurazione è necessario definire delle apposite combinazioni di carico ed effettuare una valutazione relativa al grado di protezione delle armature metalliche contro la corrosione (in termini di condizioni ambientali e sensibilità delle armature stesse alla corrosione). Si distinguono i seguenti casi:

Combinazioni di azioni
 Frequente (FR)
 Quasi Permanente (QP)

Condizioni ambientali
 Ordinarie
 Aggressive
 Molto aggressive

Sensibilità delle armature alla corrosione
 Sensibili (acciai da precompresso)
 Poco sensibili (acciai ordinari)

Apertura delle fessure
 $w_1 = 0.200mm$
 $w_2 = 0.300mm$
 $w_3 = 0.400mm$

Tabella 3: Stati limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Il calcolo, condotto con riferimento alla procedura analitica prevista al §C4.1.2.2.4 del [49], prevede i seguenti passaggi:

- Valutazione della distanza media tra le fessure (Δ_{sm});
- Valutazione della deformazione media delle barre d'armatura (ϵ_{sm});
- Valutazione dell'ampiezza delle fessure (valore medio w_m e valore di calcolo w_d).

Elemento strutturale	Classi di esposizione	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Stato limite	w_d
Soletta	XF4	Molto aggressive	Frequente	Apertura fessure	$\leq w_1 = 0.20 \text{ mm}$
			Quasi perm.	Apertura fessure	$\leq w_1 = 0.20 \text{ mm}$

6.4 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio elementi in acciaio.

6.4.1 Limitazione delle tensioni

La verifica viene condotta con riferimento alle tensioni di Von Mises valutate sotto la combinazione fondamentale S.L.E., applicando il coefficiente di materiale $\gamma_{m,ser} = 1.00$.

6.4.2 Instabilità dei pannelli d'anima

La verifica è volta alla limitazione della snellezza dei singoli pannelli e sottopannelli. I criteri di verifica sono contenuti nelle NTC 2018 al §4.2.4.1.3.4, che rimandano a EN 1993-2 al §7.4.

6.4.3 Verifiche delle connessioni trave-soletta

Nel caso di travi da ponte il taglio longitudinale di progetto calcolato allo SLE, non deve eccedere $0.6 \cdot P_{Rd}$ (§C4 3.4.3.3 della "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni").

7 ANALISI STATICHE IMPALCATO

7.1 Descrizione analisi strutturale

Il calcolo delle sollecitazioni nell'impalcato viene effettuato mediante una modellazione FEM del solo impalcato, opportunamente vincolato, in modo da simulare gli effettivi gradi di libertà consentiti dalle apparecchiature di vincolo sottostanti.

L'impalcato viene discretizzato come graticcio di travi e traversi, eseguendo un'analisi globale dell'impalcato secondo la metodologia classica relativa alle strutture miste acciaio-calcestruzzo; la quale prevede l'introduzione di aree in acciaio equivalenti, omogeneizzate alle aree di calcestruzzo attraverso coefficienti variabili a seconda delle caratteristiche dipendenti dalla reologia.

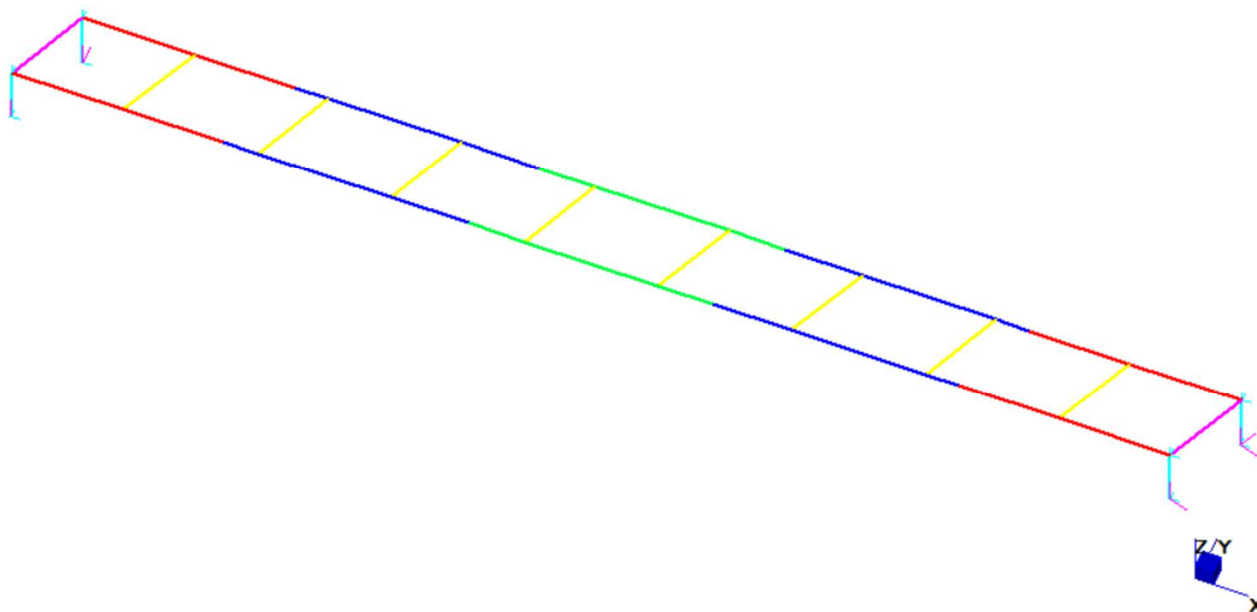


Figura 1 – Modello FEM

Gli effetti dei vari carichi vengono quindi linearmente sovrapposti con riferimento alle differenti "fasi" temporali della struttura, ciascuna caratterizzata da differenti caratteristiche della sezione resistente ed da specifiche tipologie di carico, come descritto di seguito.

7.1.1 Fase 1

Tale fase coincide con la posa in opera delle travi, dei traversi metallici e il getto delle solette in calcestruzzo; la sezione resistente della trave è relativa al solo acciaio così come quella dei traversi, essendo la soletta in calcestruzzo non ancora collaborante; i carichi agenti sono quelli dovuti al peso proprio di travi e traversi ed al getto delle solette in calcestruzzo.

7.1.2 Fase 2

In fase 2 vengono esaminati i carichi di tipo permanente, ovvero:

- pesi permanenti non strutturali (peso del manto di finitura, delle barriere, degli impianti di smaltimento acque e degli elementi accessori) – Fase 2A
- ritiro della soletta in calcestruzzo – Fase 2B

La sezione resistente è quella composta acciaio/calcestruzzo; si tiene conto, per i carichi di tale fase, dell'influenza della viscosità omogeneizzando le aree in calcestruzzo ad acciaio secondo i

coefficienti di omogeneizzazione descritti successivamente.

7.1.3 **Fase 3**

In tale fase si considera, di volta in volta, la presenza di tutti i contributi di carico di tipo istantaneo, ovvero:

- variazioni termiche – Fase 3A
- carichi mobili e azioni di breve durata in genere (vento) – Fase 3B

La sezione resistente è anche in questo caso quella composta acciaio/calcestruzzo; in questo caso, però, l'omogeneizzazione delle aree in calcestruzzo avviene secondo il coefficiente n_0 di breve durata, definito nel seguito.

Ai soli fini della suddivisione dei carichi in tipologie, la medesima suddivisione in fasi viene considerata anche per gli elementi metallici.

7.2 Coefficienti di omogeneizzazione

Lo studio dell'impalcato viene eseguito "omogeneizzando" la sezione di calcestruzzo ad acciaio. In funzione della durata del carico si distinguono due tipi di coefficienti:

n_0 coefficiente di omogeneizzazione per carichi di breve durata;

n_L coefficiente di omogeneizzazione per carichi di lunga durata.

In particolare, il coefficiente di omogeneizzazione per carichi di breve durata risulta semplicemente pari al rapporto tra i moduli elastici di acciaio e calcestruzzo, ossia $n_0 = E_a / E_{cm}$. Nel presente caso si ha $n_0 = 6.16$.

Il coefficiente di omogeneizzazione per carichi di lunga durata, invece, viene valutato in accordo alla norma EN 1994-2 al punto 5.4.2.2, in funzione della fase di vita in esame e del tipo di carico applicato, nel seguente modo:

$$n_L = n_0 (1 + \psi_L \phi_t)$$

dove:

$$n_0 = E_a / E_{cm}$$

ψ_L = moltiplicatore di viscosità, funzione del tipo di carico applicato

ϕ_t = coefficiente di viscosità

dove:

$\psi_L = 1.10$ per i carichi permanenti e i cedimenti vincolari

$\psi_L = 1.50$ per le deformazioni imposte

$\psi_L = 0.55$ per l'azione del ritiro

Avendo assunto:

$t_0 = 7$ g per il calcolo del ϕ_t finalizzato alla valutazione di n_L riferito al ritiro

$t_0 = 7$ g per il calcolo del ϕ_t finalizzato alla valutazione di n_L riferito ai carichi permanenti

Da cui si ottengono i seguenti valori del coefficiente di omogeneizzazione:

$n_1 = \infty$ assunto in fase 1, ossia per la fase di montaggio in cui la soletta in calcestruzzo non è collaborante, e per ragioni puramente numeriche lo si considera nullo;

$n_{L\ 2a} = 19,50$ assunto in fase 2a, per i carichi permanenti;

$n_{r\ 2b} = 12,84$ assunto in fase 2, per l'azione di ritiro;

$n_0 = 6,16$ assunto in fase 3, per i carichi accidentali.

7.3 Larghezza di soletta collaboranti

In tabella si riassumono i parametri di calcolo delle larghezze collaboranti alle travi longitudinali, valutate lungo lo sviluppo dell'impalcato.

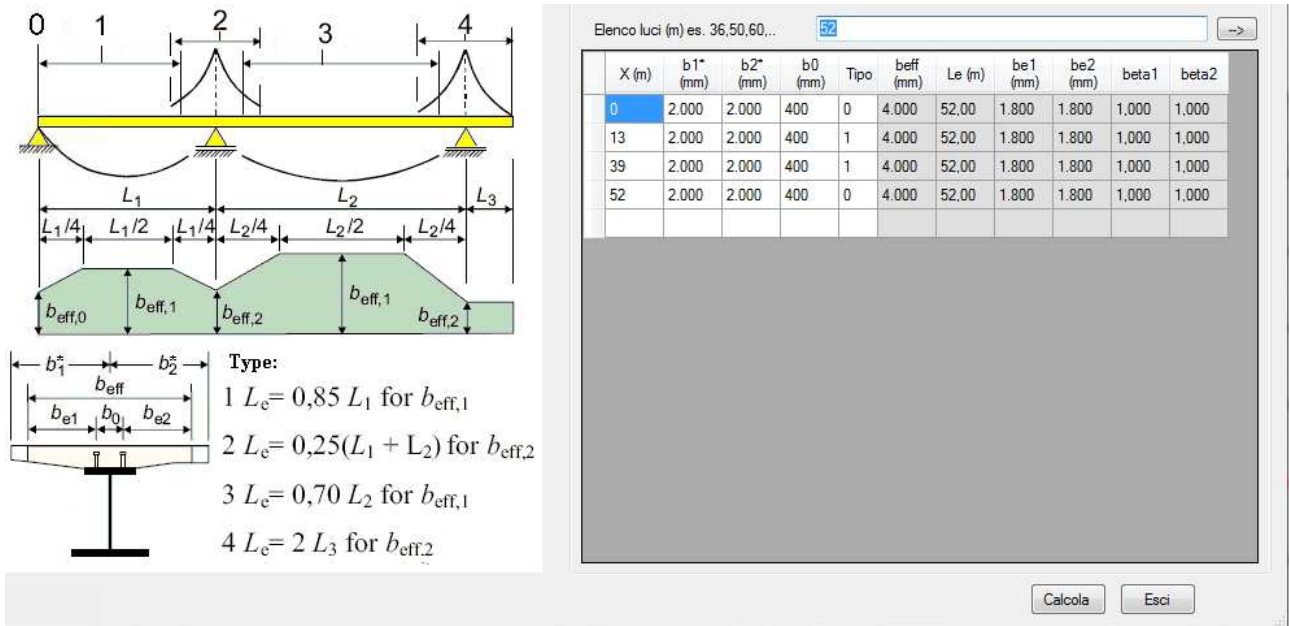


Figura 2 – Riepilogo larghezze collaboranti delle sezioni trave

Di seguito l'andamento della larghezza collaborante alla trave, in forma grafica.

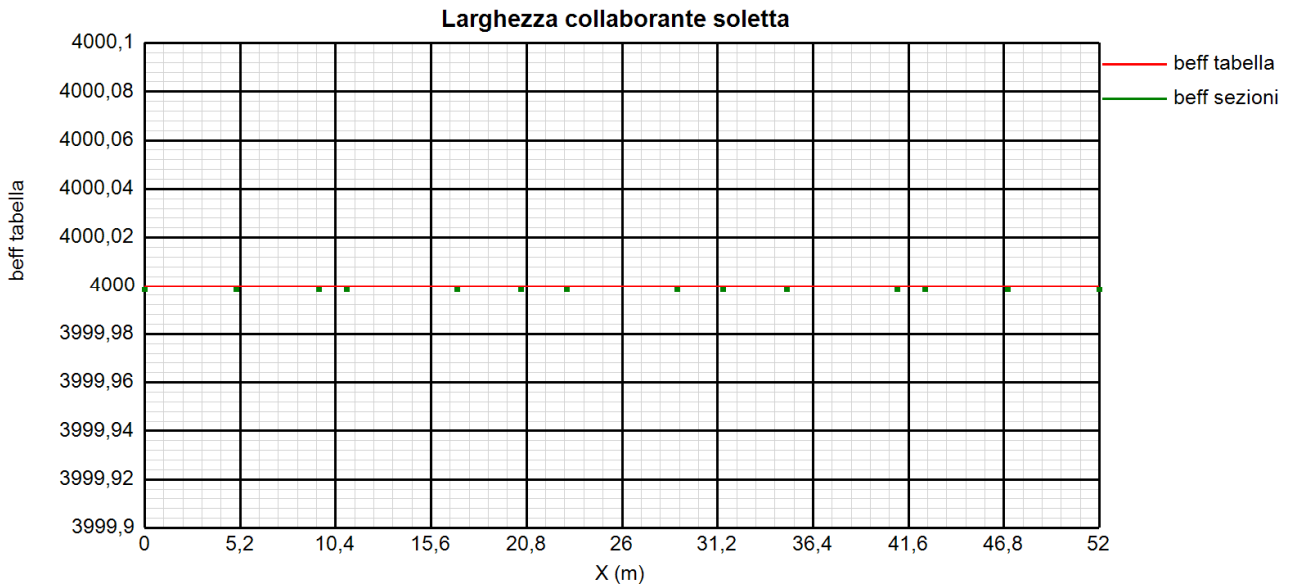


Figura 3 – Riepilogo larghezze collaboranti delle sezioni trave lungo l'asse impalcato

7.4 Rigidezze flessionali

Nella seguente tabella si riportano le proprietà geometriche attribuite nelle diverse fasi alle beam costituenti le travi principali del graticcio, ottenute sulla base dei coefficienti di omogeneizzazione e delle larghezze collaboranti desunte nei precedenti paragrafi.

In questa tabella sono indicate anche le proprietà fessurate, considerate in prossimità delle zone a momento negativo, nelle quali infatti si è trascurato il contributo del calcestruzzo alla rigidezza dell'elemento, per un tratto pari al 15% della luce delle campate adiacenti all'appoggio intermedio; questo per tener conto della fessurazione della soletta in c.a., per la quale l'unico contributo considerato è quello fornito dalle armature longitudinali.

Concio C1

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2700 mm
Piattabanda superiore	800x20 mm
Piattabanda inferiore	1000x30 mm
Anima	18x2650 mm, Inclinazione: 0
Soletta	4000x250 mm
Raccordo	800x0 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 14 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 40 mm
Armatura inferiore	diametro 14 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 40 mm
Pioli	diametro 22 mm, altezza 200 mm, numero 26/m

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	675 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	0 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 150x15 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	9,37E+4	1,511E+5	1,778E+5	1,494E+5	2,621E+5	9,986E+4
z _G (mm)	1153,933	1788,913	1944,233	1777,256	2227,666	1256,976
J _y (mm ⁴)	1,065E+11	2,062E+11	2,307E+11	2,044E+11	2,755E+11	1,227E+11
W _{y,0} (mm ³)	-9,23E+7	-1,153E+8	-1,187E+8	-1,15E+8	-1,237E+8	-9,761E+7
W _{y,1} (mm ³)	-9,477E+7	-1,173E+8	-1,205E+8	-1,17E+8	-1,254E+8	-10E+7
W _{y,3} (mm ³)	6,98E+7	2,315E+8	3,136E+8	2,264E+8	6,091E+8	8,622E+7
W _{y,4} (mm ³)	6,889E+7	2,264E+8	3,053E+8	2,215E+8	5,833E+8	8,502E+7
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	2,264E+8	3,053E+8	2,215E+8	5,833E+8	8,502E+7
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	2,169E+8	2,899E+8	2,123E+8	5,378E+8	8,273E+7
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	1,84E+8	2,389E+8	1,805E+8	4,038E+8	7,422E+7
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	1,776E+8	2,294E+8	1,743E+8	3,814E+8	7,247E+7
S _{y,1} (mm ³)	3,417E+7	5,322E+7	5,788E+7	5,287E+7	6,638E+7	3,726E+7
S _{y,2} (mm ³)	4,554E+7	8,106E+7	9,086E+7	8,034E+7	1,098E+8	5,081E+7
S _{y,3} (mm ³)	2,458E+7	7,392E+7	8,598E+7	7,301E+7	1,08E+8	3,258E+7
S _{y,4} (mm ³)	3,725E-9	5,95E+7	7,405E+7	5,841E+7	1,006E+8	9,655E+6
n _E	1E+300	19,505	12,834	20,167	6,162	1E+300

Concio C2

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2700 mm
Piattabanda superiore	800x35 mm
Piattabanda inferiore	1000x50 mm
Anima	16x2615 mm, Inclinazione: 0
Soletta	4000x250 mm
Raccordo	800x0 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)

Armatura superiore	diametro 14 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 40 mm
Armatura inferiore	diametro 14 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 40 mm
Pioli	diametro 22 mm, altezza 200 mm, numero 15/m

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	675 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	0 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 150x15 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1,198E+5	1,773E+5	2,039E+5	1,756E+5	2,883E+5	1,26E+5
Z _G (mm)	1111,13	1666,34	1817,769	1655,245	2112,507	1194,887
J _y (mm ⁴)	1,545E+11	2,689E+11	3,001E+11	2,666E+11	3,611E+11	1,718E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1,391E+8	-1,613E+8	-1,651E+8	-1,61E+8	-1,709E+8	-1,437E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1,456E+8	-1,663E+8	-1,698E+8	-1,661E+8	-1,751E+8	-1,5E+8
W _{y,3} (mm ³)	9,944E+7	2,692E+8	3,542E+8	2,64E+8	6,535E+8	1,168E+8
W _{y,4} (mm ³)	9,725E+7	2,601E+8	3,402E+8	2,552E+8	6,146E+8	1,141E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	2,601E+8	3,402E+8	2,552E+8	6,146E+8	1,141E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	2,504E+8	3,254E+8	2,457E+8	5,754E+8	1,112E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2,162E+8	2,748E+8	2,125E+8	4,528E+8	1,001E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2,095E+8	2,651E+8	2,059E+8	4,311E+8	9,787E+7
S _{y,1} (mm ³)	5,431E+7	8,207E+7	8,964E+7	8,151E+7	1,044E+8	5,849E+7
S _{y,2} (mm ³)	6,331E+7	1,03E+8	1,146E+8	1,021E+8	1,384E+8	6,898E+7
S _{y,3} (mm ³)	4,4E+7	9,499E+7	1,089E+8	9,397E+7	1,36E+8	5,169E+7
S _{y,4} (mm ³)	0E+00	6,654E+7	8,468E+7	6,521E+7	1,2E+8	1,004E+7
n _E	1E+300	19,505	12,834	20,167	6,162	1E+300

Concio C3

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2700 mm
Piattabanda superiore	800x40 mm
Piattabanda inferiore	1000x56 mm
Anima	16x2604 mm, Inclinazione: 0
Soletta	4000x250 mm
Raccordo	800x0 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 14 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 40 mm
Armatura inferiore	diametro 14 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 40 mm
Pioli	diametro 22 mm, altezza 200 mm, numero 15/m

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	675 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	0 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 150x15 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1,297E+5	1,871E+5	2,137E+5	1,854E+5	2,981E+5	1,358E+5
Z _G (mm)	1109,851	1636,3	1784,515	1625,52	2078,949	1187,608
J _y (mm ⁴)	1,706E+11	2,88E+11	3,211E+11	2,855E+11	3,87E+11	1,879E+11
W _{y,0} (mm ³)	-1,537E+8	-1,76E+8	-1,799E+8	-1,757E+8	-1,861E+8	-1,582E+8
W _{y,1} (mm ³)	-1,618E+8	-1,822E+8	-1,857E+8	-1,819E+8	-1,913E+8	-1,66E+8
W _{y,3} (mm ³)	1,1E+8	2,813E+8	3,667E+8	2,76E+8	6,66E+8	1,276E+8
W _{y,4} (mm ³)	1,073E+8	2,707E+8	3,507E+8	2,658E+8	6,231E+8	1,242E+8
W _{y,5} (mm ³)	1E+300	2,707E+8	3,507E+8	2,658E+8	6,231E+8	1,242E+8
W _{y,6} (mm ³)	1E+300	2,609E+8	3,36E+8	2,562E+8	5,854E+8	1,21E+8
W _{y,7} (mm ³)	1E+300	2,261E+8	2,853E+8	2,223E+8	4,656E+8	1,091E+8
W _{y,8} (mm ³)	1E+300	2,192E+8	2,755E+8	2,156E+8	4,443E+8	1,066E+8
S _{y,1} (mm ³)	6,058E+7	9,006E+7	9,836E+7	8,946E+7	1,149E+8	6,494E+7

$S_{y,2}(mm^3)$	6,947E+7	1,1E+8	1,223E+8	1,092E+8	1,476E+8	7,518E+7
$S_{y,3}(mm^3)$	5,024E+7	1,017E+8	1,161E+8	1,006E+8	1,449E+8	5,784E+7
$S_{y,4}(mm^3)$	-7,451E-9	6,826E+7	8,748E+7	6,686E+7	1,257E+8	1,008E+7
n_E	1E+300	19,505	12,834	20,167	6,162	1E+300

7.5 Traversi

I traversi di campata ed appoggio sono costituiti da n.2 elementi angolari L140x15 posti superiormente ed inferiormente, collegati da n.2+2 elementi angolari L140x15 diagonali.
 Le caratteristiche del traverso equivalente risultano le seguenti:

CAMPATA		APPOGGIO	
Corrente superiore		Corrente superiore	
A [cm ²]	38	A [cm ²]	80
Ixx [cm ⁴]	353	Ixx [cm ⁴]	1447
Iyy [cm ⁴]	658	Iyy [cm ⁴]	3292
z [cm]	245	z [cm]	245
Corrente inferiore		Corrente inferiore	
A [cm ²]	38,3	A [cm ²]	80
Ixx [cm ⁴]	353	Ixx [cm ⁴]	1447
Iyy [cm ⁴]	658	Iyy [cm ⁴]	3292
z [cm]	30	z [cm]	30
Baricentro trave principale		Baricentro trave principale	
zG [cm]	155	zG [cm]	155
Traverso equivalente		Traverso equivalente	
A [cm ²]	77	A [cm ²]	160
Ixx [cm ⁴]	909374	Ixx [cm ⁴]	1900894
Iyy [cm ⁴]	1316	Iyy [cm ⁴]	6584

7.6 Vincoli

Le travi principali d'impalcato vengono modellate in corrispondenza dell'attacco trave-soletta, pertanto i nodi in corrispondenza degli appoggi su spalle e pile, vengono collegati a terra mediante link rigidi, che simulano la reale distanza tra gli appoggi ed i suddetti nodi, vincolati secondo lo schema isostatico seguente.

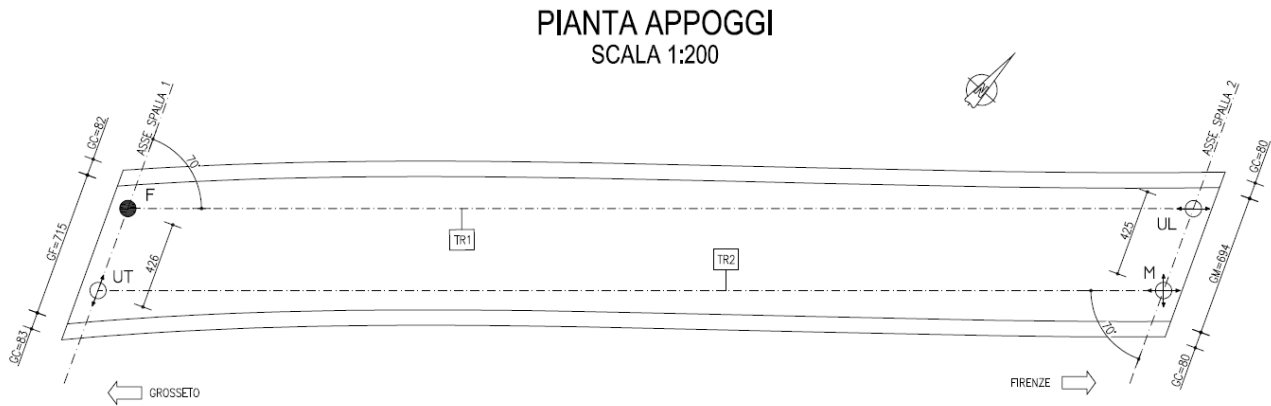


Figura 4 – Disposizione appoggi

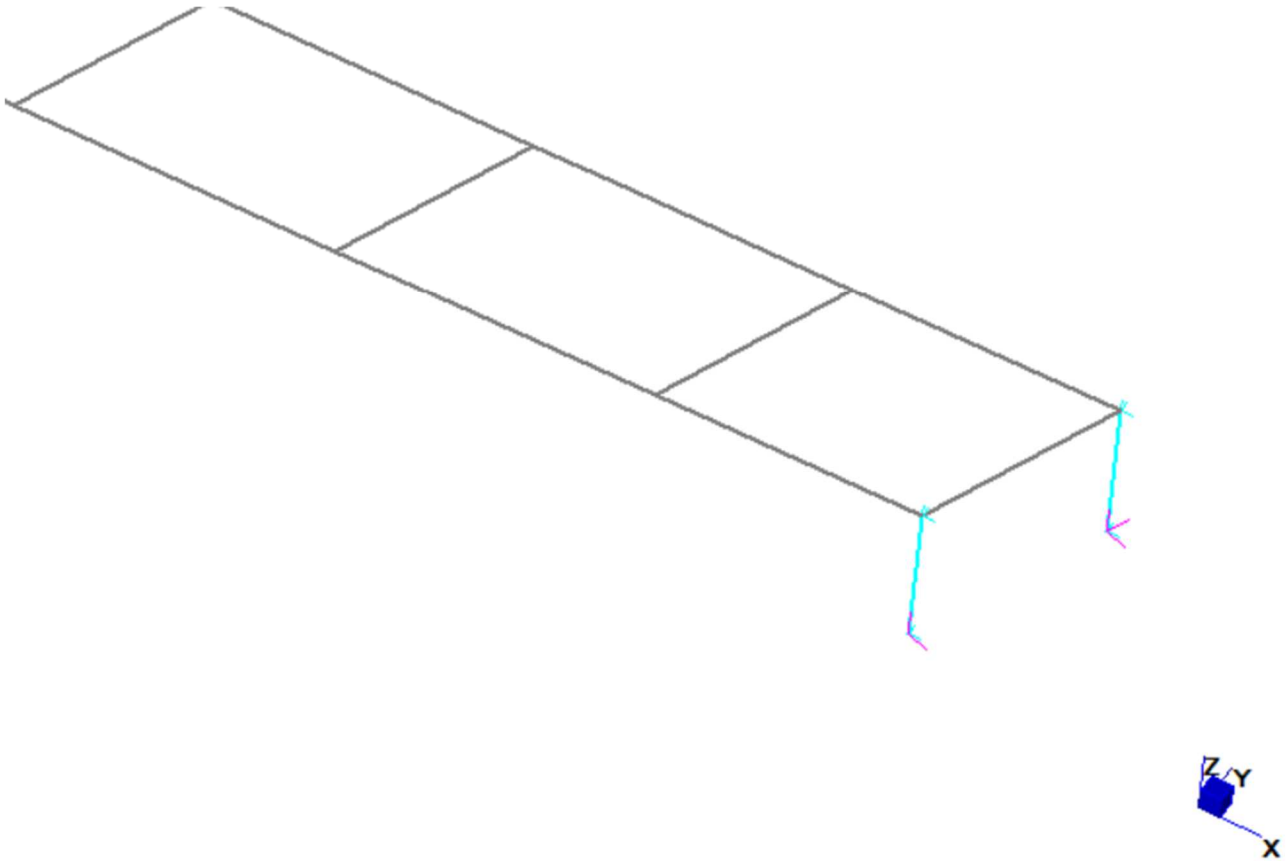


Figura 5 – Modello FEM – Vincoli

7.7 Geometria modello

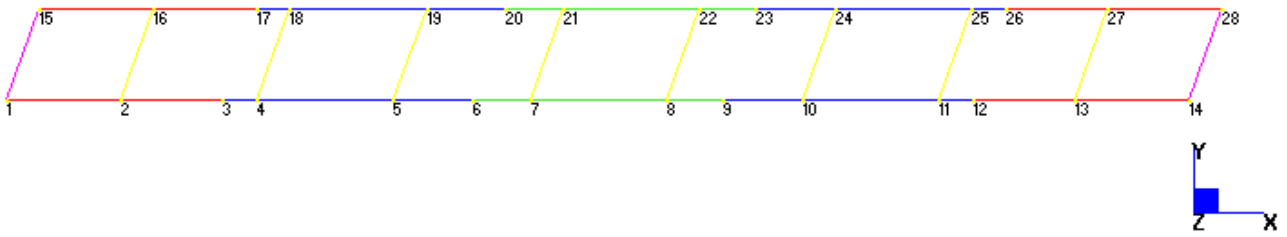


Figura 6 – Modello FEM – Numerazione nodi

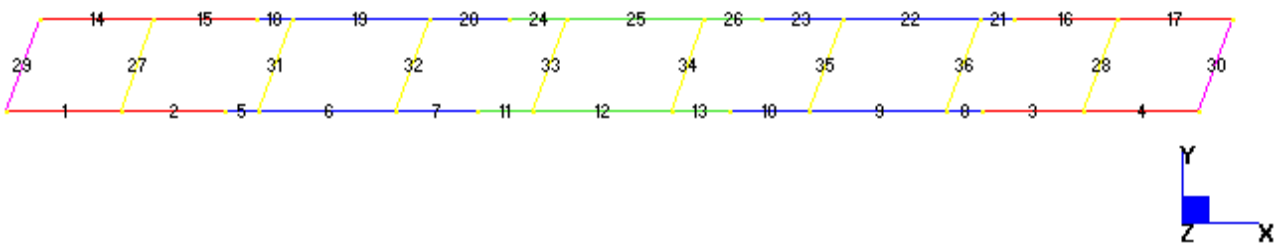


Figura 7 – Modello FEM – Numerazione elementi

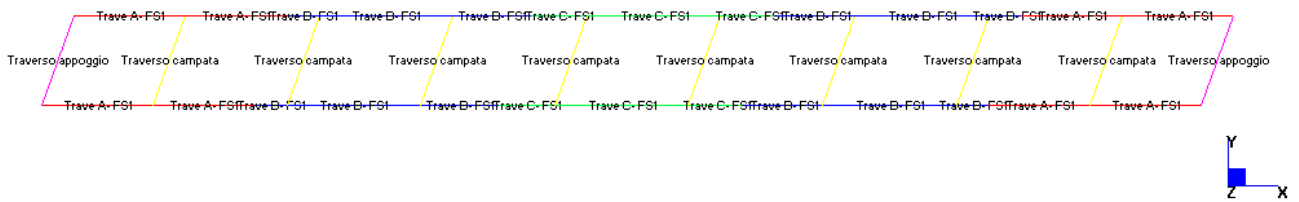


Figura 8 – Modello FEM – Proprietà elementi – Fase 1

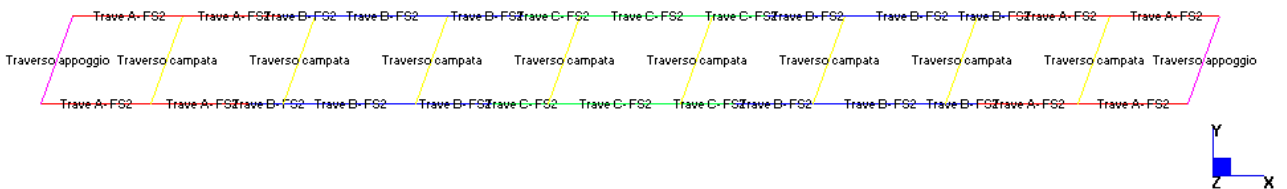


Figura 9 – Modello FEM – Proprietà elementi – Fase 2

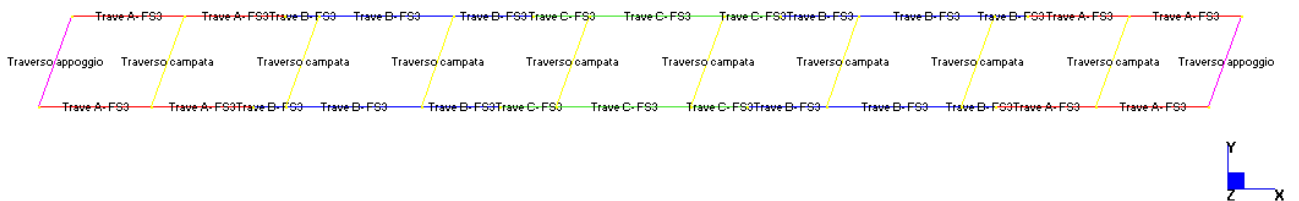


Figura 10 – Modello FEM – Proprietà elementi – Fase 3

8 ANALISI DEI CARICHI STATICI

Si descrivono di seguito i carichi considerati nelle differenti fasi.

8.1 Fase 1

8.1.1 Impalcato metallico

Il peso dell'impalcato metallico è stato assegnato automaticamente ad ogni elemento nella modellazione ad elementi finiti, imponendo il peso per unità di volume $\gamma_s=78.50 \text{ kN/m}^3$; tali pesi sono stati incrementati del 20% relativamente alle travi e dell'80% relativamente ai traversi, per considerare il peso di saldature, irrigidimenti, controventi, piastre, pioli, imbottiture etc.

8.1.2 Soletta in c.a.

Stante la simmetria geometrica trasversale, il peso della soletta in c.a. (peso per unità di volume $\gamma_s=25 \text{ kN/m}^3$) di spessore 25 cm e larghezza 8.00 m, viene ripartito ugualmente sulle due travi principali, come:

$$(8.00\text{m} * 0.25\text{m}) * 25 \text{ kN/m}^3 / 2 = 25 \text{ kN/m.}$$

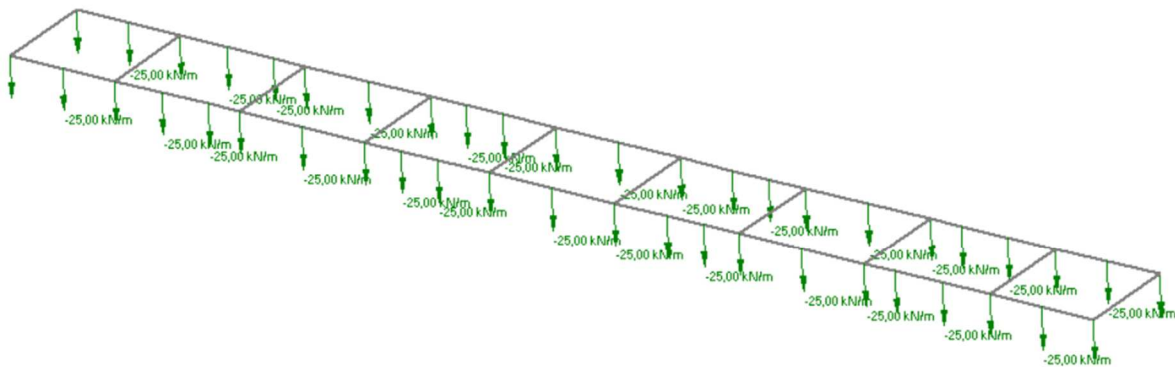


Figura 11 – Modello FEM Fase 1 – Soletta

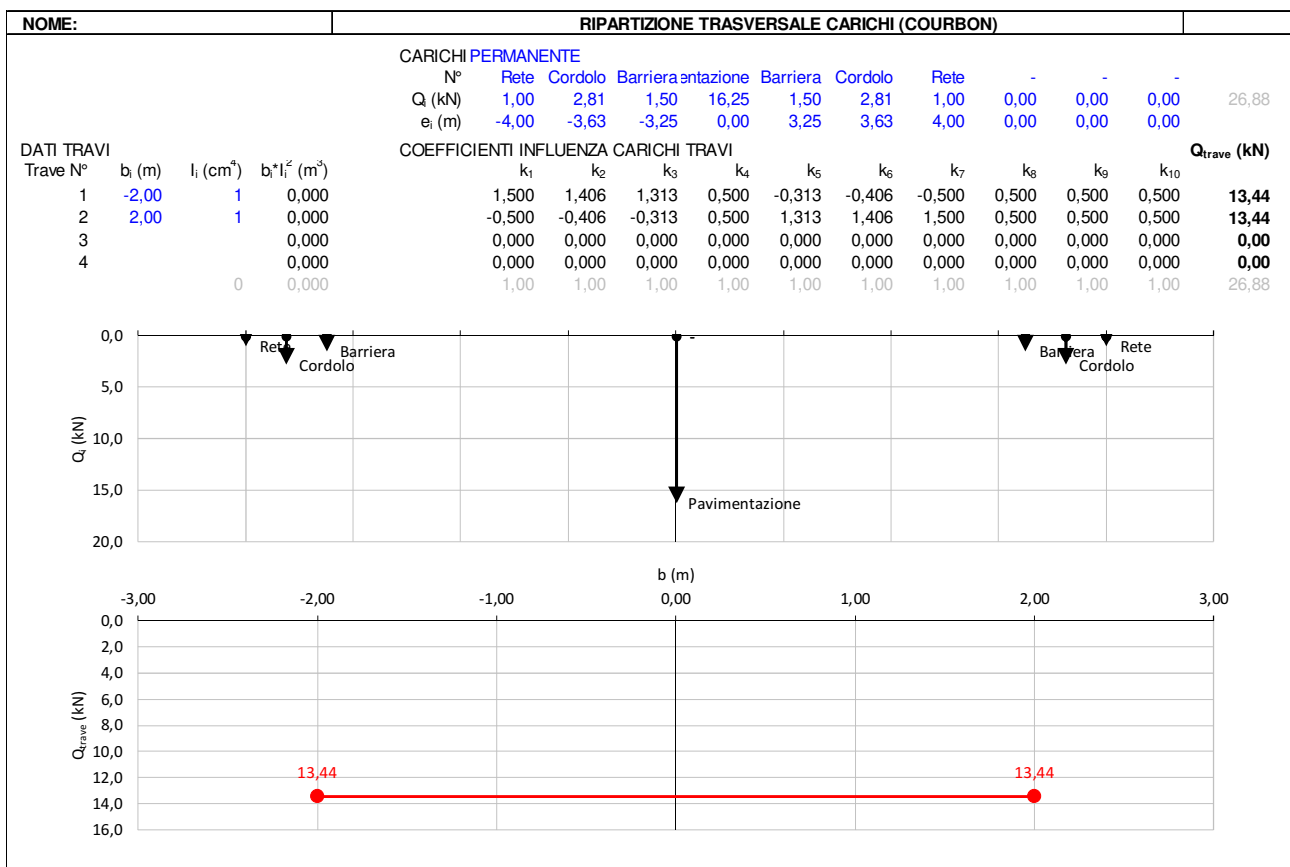
8.2 Fase 2

8.2.1 Permanenti non strutturali

Si considerano i carichi permanenti non strutturali seguenti:

- Pavimentazione 3.00 kN/m²
- Barriere stradali (filo interno cordolo) 1.50 kN/m
- Velette laterali 1.50 kN/m
- Collettore smaltimento acque (in centro al traverso) 3.50 kN/m
- Grigliato di ispezione a fondo cassero 0.50 kN/m²

Per determinare l'aliquota del carico che viene trasferita a ciascuna trave di impalcato, si considera una ripartizione rigida secondo la formulazione di Courbon.



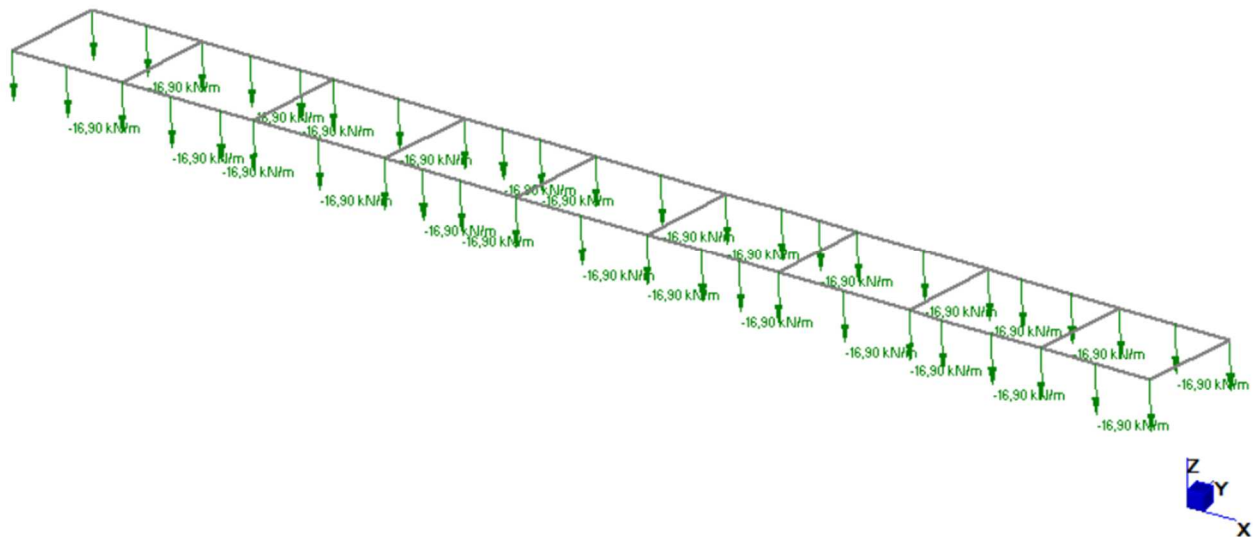


Figura 12 – Modello FEM Fase 2 – Permanenti non strutturali

8.2.2 Ritiro

Le considerazioni circa gli effetti del ritiro e della viscosità sull'impalcato sono valutati direttamente sul software di calcolo delle sezioni miste "PONTI EC4" in aderenza alle prescrizioni contenute in EN 1992-2. Nel seguito si riportano le valutazioni.

Caratteristiche del cls a tempo zero

Resistenza a compressione caratteristica, f_{ck} (N/mm ²)	35,00
Resistenza a compressione media, $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (N/mm ²)	43,00
Modulo elastico secante, $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0,3}$ k (N/mm ²)	34.077,15
Coefficiente di correzione, k	1,00
Tipo di aggregati presenti nell'impasto	Quarziti
Classe del cemento	N

Coefficienti di omogeneizzazione

Moduli elastici Longitudinali		Moduli elastici Tangenziali	
nE a tempo 0	6,162	nG a tempo 0	5,688
nE(t,t ₀) - Permanenti	19,505	nG(t,t ₀) - Permanenti	18,005
nE(t,t ₀) - Ritiro	12,834	nG(t,t ₀) - Ritiro	11,847
nE(t,t ₀) - Def. imposte	20,167	nG(t,t ₀) - Def. imposte	18,616

Tempo e ambiente

Eta' del calcestruzzo in giorni all'inizio del ritiro per essiccamento, t _s	3
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione dei carichi permanenti, t ₀	7
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione del ritiro, t ₀	7
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte, t ₀	28
Eta' del calcestruzzo in giorni, t	36.500
Dimensione fittizia dell'elemento di cls, h ₀ = 2A _c /u (mm)	500
Sezione dell'elemento, A _c (mm ²)	1.000.000,00
Perimetro a contatto con l'atmosfera, u (mm)	4.000,00
Umidita' relativa percentuale, RH (%)	75

Coefficiente di viscosita' $\phi(t,t_0)$ e modulo elastico E_{cm} al tempo "t"

Coefficiente di viscosita' $\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \beta_c(t,t_0) =$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1,968
al momento dell'applicazione del ritiro	1,968
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	1,515
Coefficiente nominale di viscosita', $\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1,986
al momento dell'applicazione del ritiro	1,986
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	1,528
Coefficiente per l'evoluzione della viscosita' nel tempo, $\beta_c(t,t_0) = 1/(0.1+t_0^{0.20})$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	0,635
al momento dell'applicazione del ritiro	0,635
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	0,488
Eta' del calcestruzzo corretta in funzione della tipologia di cemento, $t_0 = t_0 [9/(2+t_0^{1.2})+1]^\alpha >= 0.5$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	7,00
al momento dell'applicazione del ritiro	7,00
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	28,00
Coefficiente per la variabilita' della viscosita' nel tempo, $\beta_c(t,t_0) = [(t-t_0)/(\beta_H+t-t_0)]^{0.30}$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	0,991
al momento dell'applicazione del ritiro	0,991
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	0,991
Modulo elastico al tempo "t", $E_{cm}(t,t_0) = E_{cm} / [1+\psi^* \varphi(t,t_0)]$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	10.766
al momento dell'applicazione del ritiro	16.363
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	10.413
$\psi =$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1,100
al momento dell'applicazione del ritiro	0,550
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	1,500
Altri dati:	
Coefficiente che tiene conto dell'umidita', $\varphi_{RH} = 1 + [(1-RH/100)/(0.1 h_0^{1/3}) \alpha_1] \alpha_2$	1,221
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_1 = (35/f_{cm})^{0.7}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_1 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0,866
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_2 = (35/f_{cm})^{0.2}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_2 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0,960
Coefficiente per la resistenza del cls, $\beta_c(f_{cm}) = 16.8/f_{cm}^{0.5}$	2,562
Coefficiente per il tipo di cemento, $\alpha =$	0
Coefficiente che tiene conto dell'umidita', $\beta_H = 1.5 [1+(0.012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3$	1,088
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_3 = (35/f_{cm})^{0.5}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_3 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0,902

Deformazione di ritiro $\epsilon_s(t,t_0)$

$$\epsilon_s(t,t_0) = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}(t) = 0,000270$$

Dove:

Deformazione dovuta al ritiro per essiccamento, $\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t,t_s) k_h \epsilon_{cd,0} =$	0,000208
Coeff. per la variabilita' della deformazione nel tempo, $\beta_{ds}(t,t_s) = (t-t_s)/[(t-t_s)+0.04(h_0^3)^{0.5}] =$	0,988
Parametro che dipende da h_0 (vedi prospetto seguente), $k_h =$	0,70
Deformazione di base, $\epsilon_{cd,0} = 0.85 [(220+110\alpha_{ds1})^* \exp(-\alpha_{ds2} * f_{cm}/f_{cm0})] 10^{-6} \beta_{RH} =$	0,000300
$\beta_{RH} = 1.55 [1-(RH/RH_0)^3] =$	0,896
$f_{cm0} =$	10 Mpa
$RH_0 =$	100%
Coefficiente per il tipo di cemento, $\alpha_{ds1} =$	4
Coefficiente per il tipo di cemento, $\alpha_{ds2} =$	0,12
Deformazione dovuta al ritiro autogeno, $\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \epsilon_{ca00} =$	0,0000625
$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) =$	1,00
$\epsilon_{ca00} = 2.5(f_{ck} - 10) 10^{-6} =$	0,0000625

Valori di k_h

h_0	k_h
100	1.00
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

Riguardo gli effetti iperstatici del ritiro, questi sono assimilabili ad una deformazione termica equivalente; essendo l'impalcato vincolato isostaticamente alle sottostrutture un'eventuale variazione termica non induce sollecitazioni sugli elementi strutturali, pertanto il ritiro non è stata applicato nel modello fem.

8.3 Fase 3

8.3.1 Azioni variabili da traffico veicolare

Le azioni variabili del traffico definite nello Schema di Carico 1 (DM2018 – p.to 5.1.3.3.5) sono costituite da carichi concentrati e da carichi uniformemente distribuiti. Tale schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali.

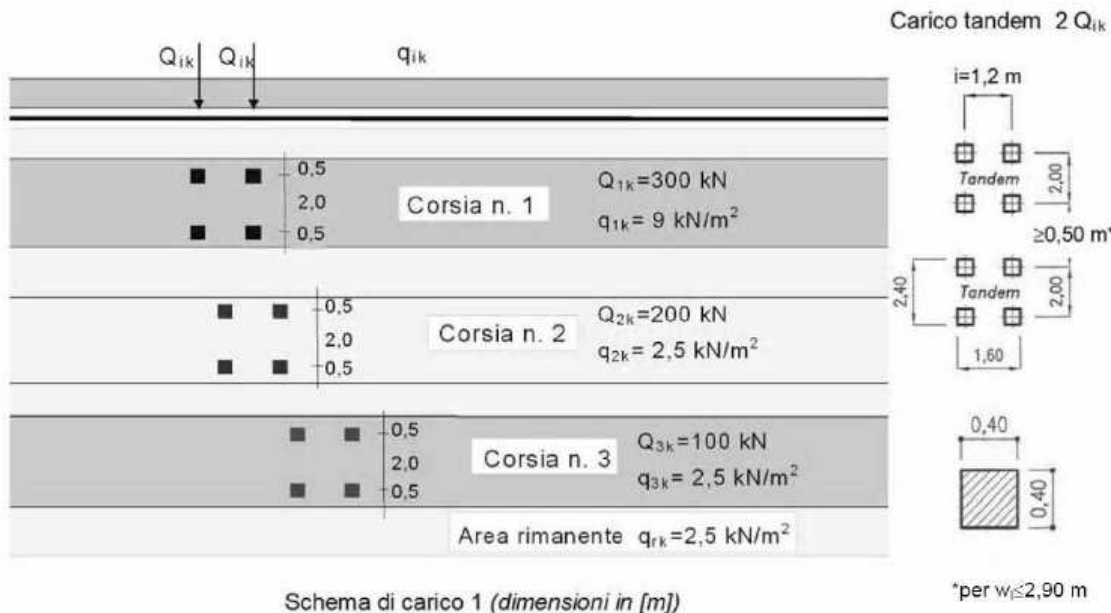


Figura 13 – Schema n°1 carichi mobili

Tabella 5.1.II - Intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie

Posizione	Carico asse Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

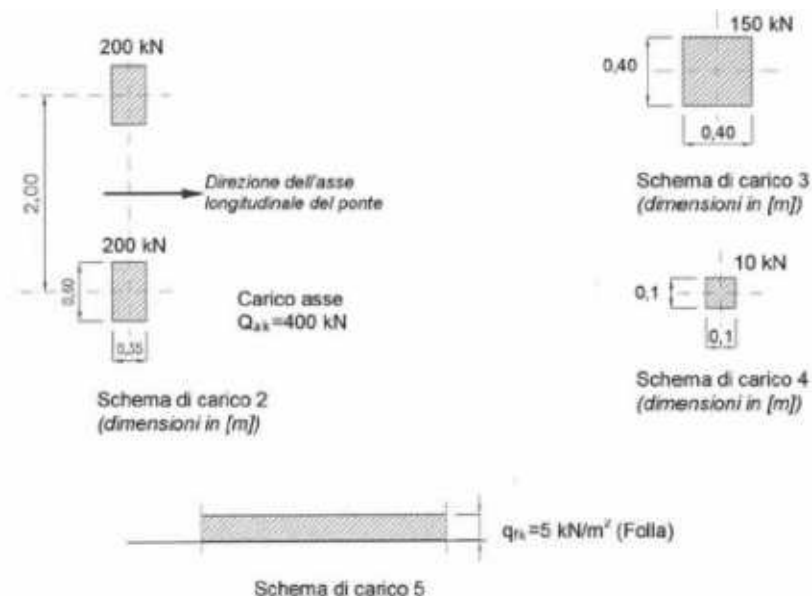


Figura 14 – Schema n°2,3,4,5 carichi mobili

Per determinare l'aliquota del carico mobile che viene trasferita a ciascuna trave di impalcato, si considera una ripartizione rigida secondo la formulazione di Courbon.
 Le azioni così individuate sono state applicate direttamente agli elementi finiti del modello numerico.

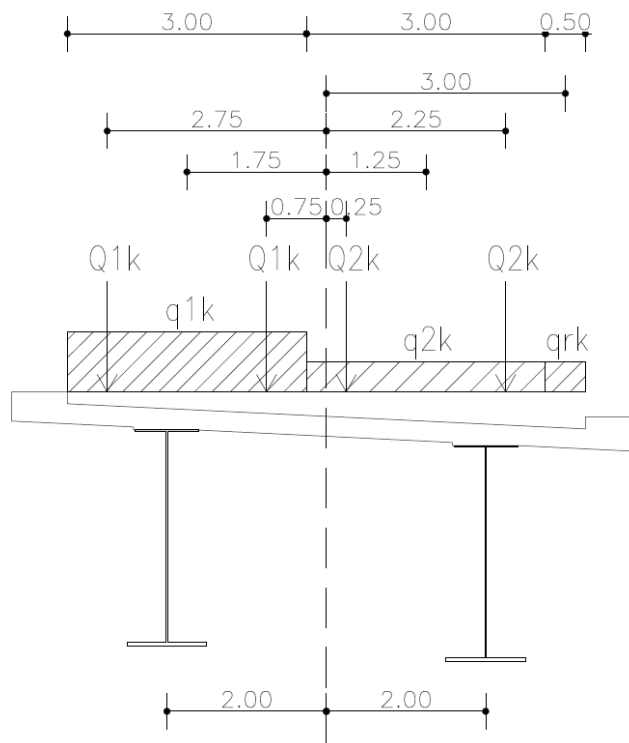
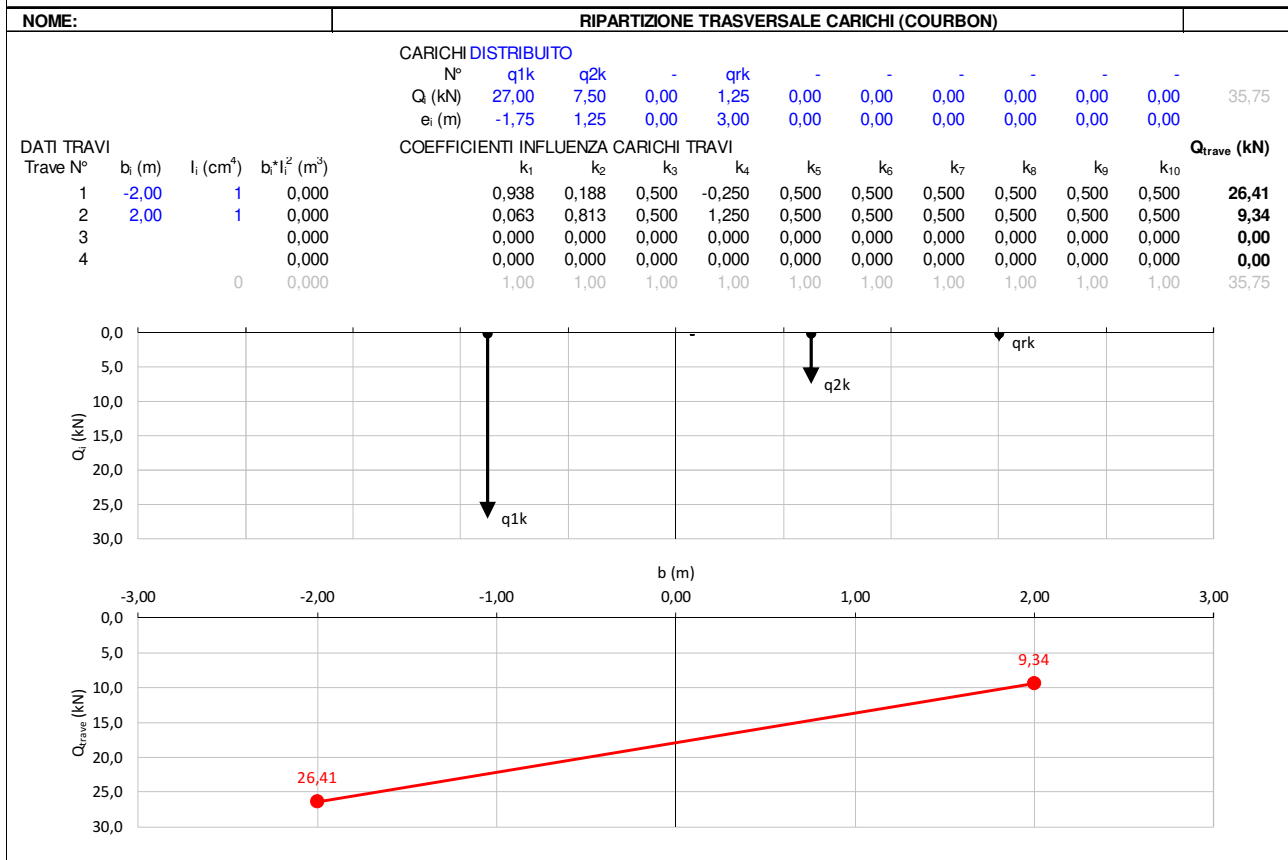
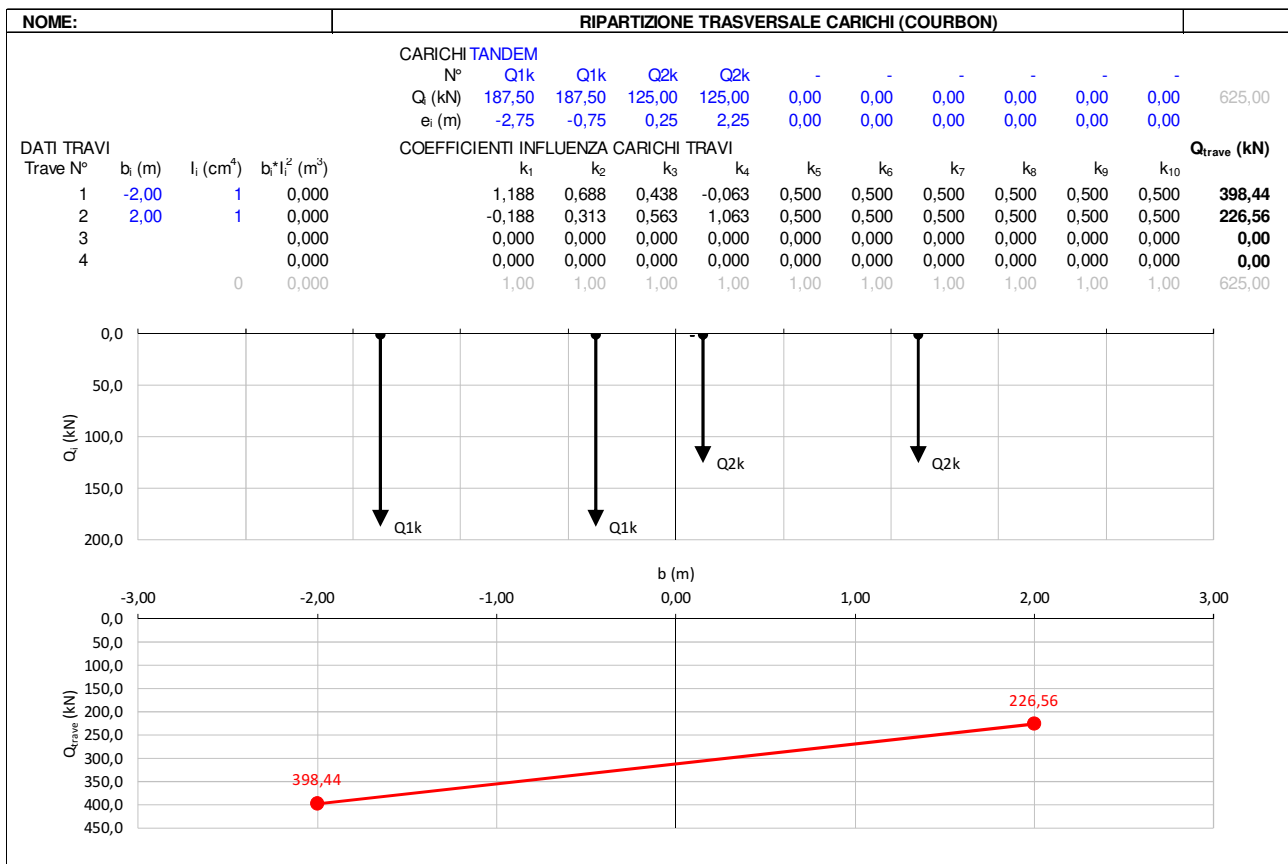


Figura 15 – Schema ripartizione carichi da traffico

Nel modello di analisi i carichi concentrati vengono sostituiti da un carico uniformemente distribuito equivalente della lunghezza longitudinale di 1.60 m, criterio comunque cautelativo considerando l'effettiva diffusione del carico.

Le sollecitazioni flettenti e di taglio nei differenti conci di trave vengono massimizzate considerando differenti posizioni longitudinali del carico tandem; questi inoltre sono stati disposti in differenti configurazioni trasversali al fine di massimizzare sia il carico verticale complessivo che lo squilibrio trasversale.



Si riportano nelle figure seguenti alcune condizioni di carico da traffico.

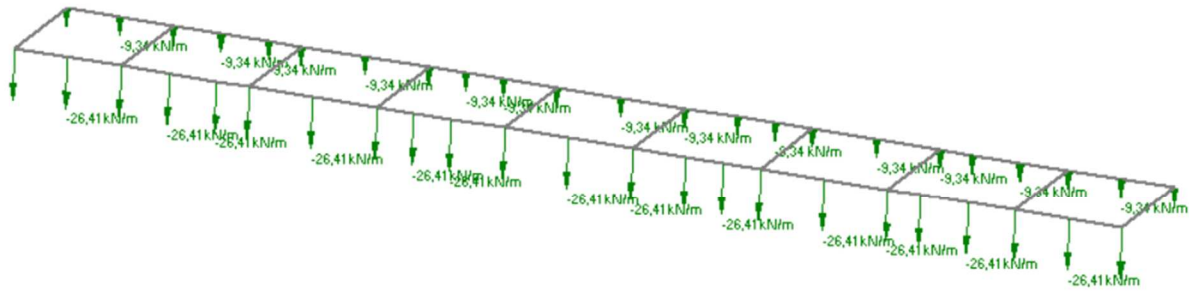
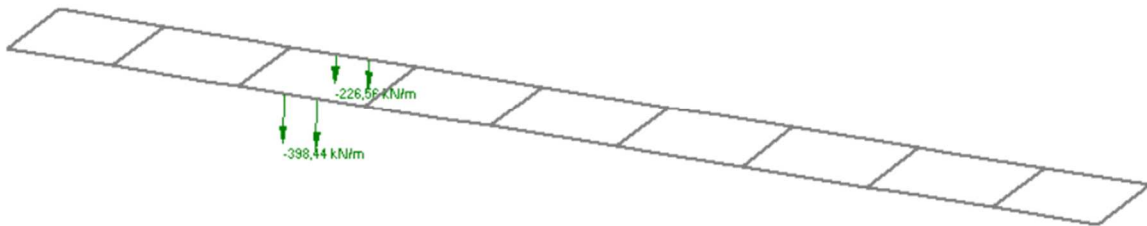
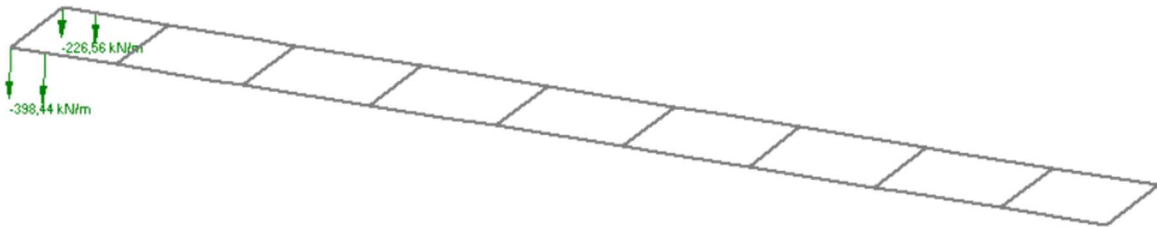


Figura 16 – Modello FEM Fase 3 – Accidentali da carico distribuito



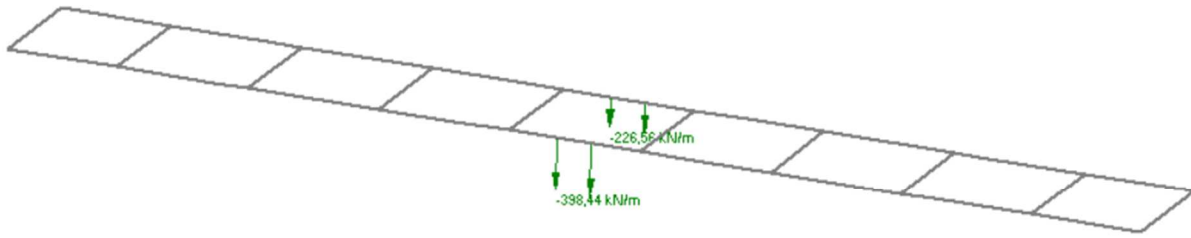


Figura 17 – Modello FEM Fase 3 – Accidentali da carico tandem

8.3.2 Azioni variabili da vento

Si esegue di seguito il calcolo dell'azione del vento applicato all'impalcato in condizioni cariche con veicoli transitanti.

NOME:		CALCOLO AZIONE VENTO IMPALCATO (CNR DT207/2008)		
PARAMETRI VENTO DI PROGETTO		DATI GEOMETRICI IMPALCATO		AZIONI TOTALI IMPALCATO
Zona	3 (Tab.3.I)	h_{tot} (m)	6,25 Altezza impalcato	L influenza (m) 52,00
$v_{b,0}$ (m/s)	27,00 Velocità base liv. mare (Tab.3.I)	d (m)	8,00 Larghezza impalcato	F_x (kN) 741,0
c_a	1,00 Coeff. altitudine	d/ h_{tot}	1,28 (§G.10.3)	F_y (kN) 397,8
v_b (m/s)	27,00 Velocità base riferimento vento	z (m)	11,78 Altezza dal suolo impalcato	M_z (kNm) 768,7
T_R (anni)	100 Tempo ritorno vento	c_e	2,24 Coeff. esposizione	
c_r	1,063 Coeff. tempo ritorno	ρ (kg/m ³)	1,25 Massa specifica aria	
v_r (m/s)	28,69 Velocità riferimento vento	q_p (Pa)	1155 Pressione cinetica picco	
k_a	0,37 Fattore altitudine (Tab.3.I)	c_{fx}	1,97	
a_s (m s.l.m.)	200 Altitudine sito	c_{fy}	0,83	
a_0 (m s.l.m.)	500 Altitudine base (Tab.3.I)	c_{mz}	0,20	
Categoria	3 (Tab. 3.II - 3.III)	f_x (kN/m)	14,25 (§G.10.3)	
k_r	0,20 Fattore terreno (Tab.3.II)	f_y (kN/m)	7,65 (§G.11.1)	
z_{min} (m)	5,00 Altezza minima (Tab.3.II)	m_z (kNm/m)	14,78 (§G.11.1)	
z_0 (m)	0,10 Altezza rugosità (Tab.3.II)			
c_t	1,00 Coeff. topografico			

$$f_x(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fx}$$

$$f_y(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fy}$$

$$m_z(z) = q_p(z) \cdot l^2 \cdot c_{mz}$$

NOME:		RIPARTIZIONE TRASVERSALE CARICHI (COURBON)												
		CARICHI VENTO CARICO												
		N°	-MZ/FY/2	MZ/FY/2	FY	-	-	-	-	-	-	-		
		Q (kN)	-7,65	7,65	7,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,65		
		e_i (m)	0,97	-0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
DATI TRAVI		COEFFICIENTI INFLUENZA CARICHI TRAVI												
Trave N°	b_i (m)	I_i (cm ⁴)	$b^* I_i^z$ (m ⁵)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	Q_{trave} (kN)
1	2,00	1	0,000	0,258	0,742	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	7,52
2	2,00	1	0,000	0,742	0,258	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,13
3			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
4			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
		0	0,000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,65

Per calcolare i tagli verticali sulle travi che induce l'azione torcente del vento sull'intera sezione di

impalcato, si simula nella ripartizione di Courbon una coppia di forze verticali f_y poste ad una distanza tale da produrre un momento torcente trasversale m_z . Agli elementi finiti del modello numerico sono quindi applicate le reazioni verticali calcolate e le rimanenti azioni orizzontali f_x . Il carico da vento è stato applicato trasversalmente sia spirante da esterno curva che da interno curva.

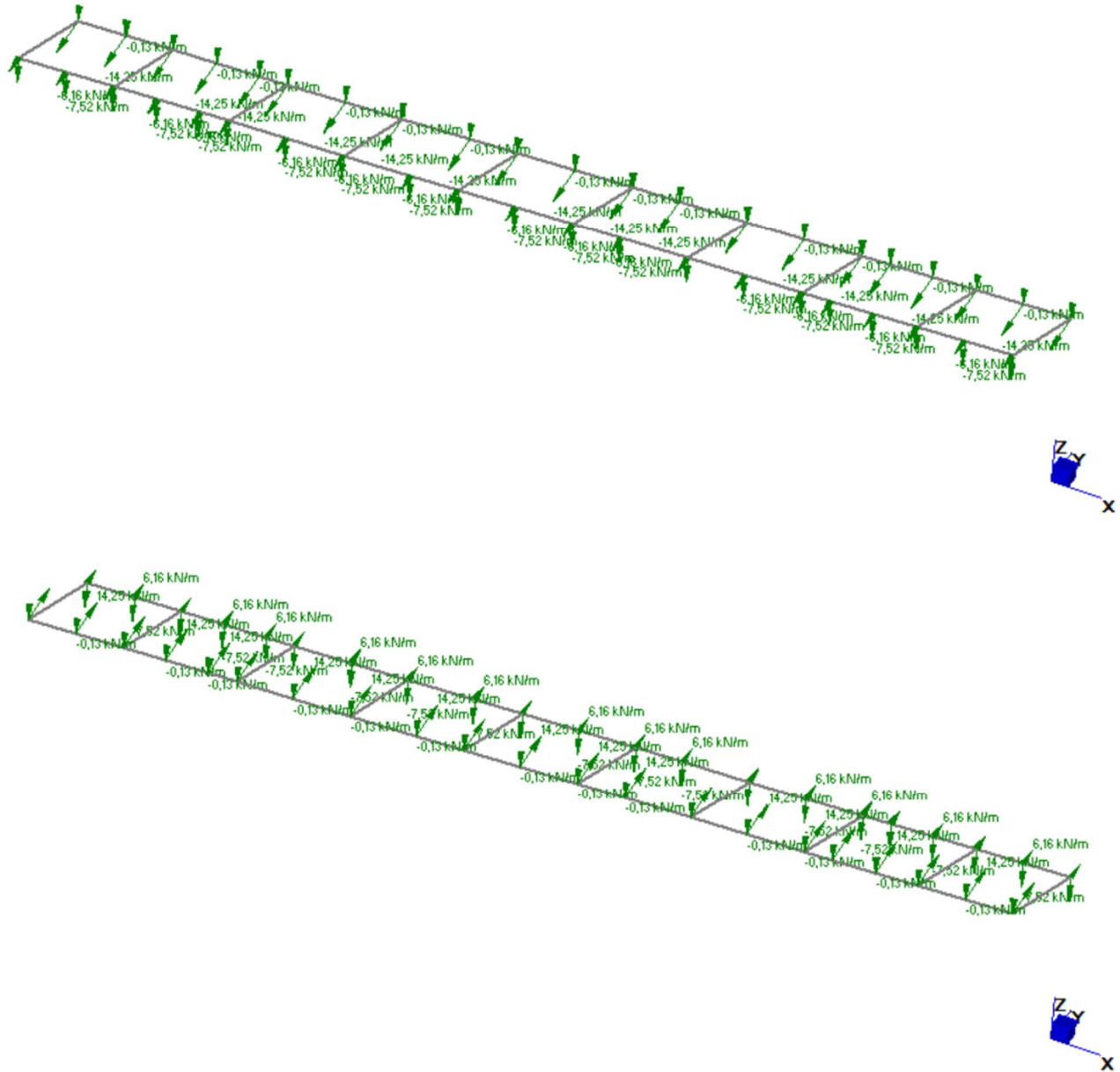


Figura 18 – Modello FEM Fase 3 – Vento Y+ e vento Y-

8.3.3 Azioni termiche

Per quanto riguarda la temperatura variabile sulla sezione si precisa che detta variazione, in generale, può aver andamento lineare tra l'intradosso e l'estradosso della struttura mista (variazione termica lineare ossia gradiente termico lineare) oppure presentare una discontinuità tra soletta e sottostante struttura metallica (variazione termica differenziale trave-soletta).

Nel caso in oggetto viene considerata una variazione termica differenziale trave-soletta di valore pari a 10 °C, secondo quanto prescritto nella EN 1991-1-5 per impalcati a struttura composta (Approccio 2).

Gli effetti primari dovuti alla variazione termica sono valutati direttamente dal software di calcolo delle sezioni miste "PONTI EC4", in aderenza alle prescrizioni contenute in EN 1992-2.

Riguardo gli effetti iperstatici delle azioni termiche, essendo l'impalcato vincolato isostaticamente alle sottostrutture un'eventuale variazione termica non induce sollecitazioni sugli elementi strutturali; pertanto la termica non è stata applicata nel modello fem.

8.4 Azioni di frenamento

Secondo quanto riportato in §5.1.3.5 delle NTC, la forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n°1:

$$q_3 = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$
$$180 \text{ kN} \leq q_3 \leq 900 \text{ kN}$$

dove:

w_1 = larghezza della corsia convenzionale

L = lunghezza della zona caricata

A favore di sicurezza si è considerato una forza pari a 900 kN ripartita ugualmente sui 2 appoggi di spalla, che vincolano l'impalcato in direzione longitudinale

8.5 Azione accidentale mezzi per verifiche a fatica

Per le verifiche a fatica il par. 5.1.4.3 del DM 17/01/2018 prevede un modello costituito dallo Schema di Carico 1 da traffico, assumendo il 70% dei carichi concentrati ed il 30% di quelli distribuiti, applicati in asse alle corsie convenzionali, come descritto nella figura seguente.

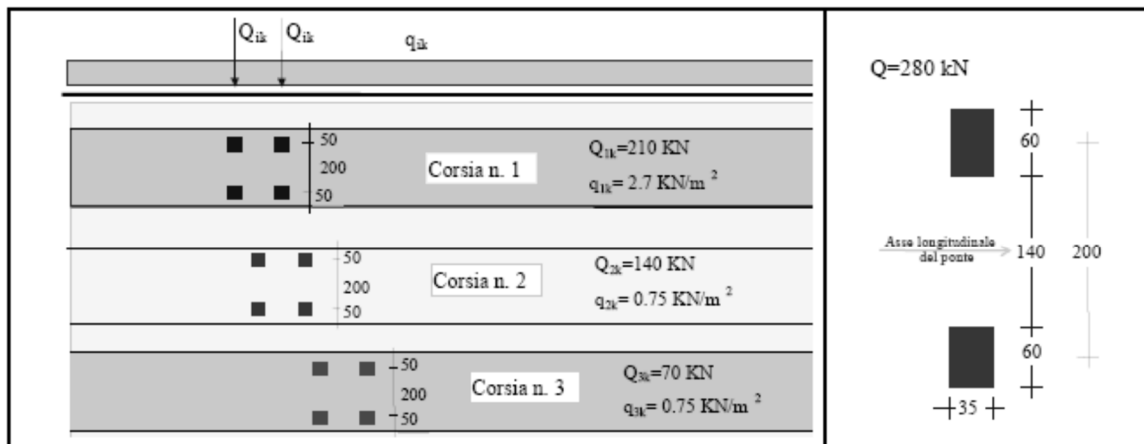


Figura 5.1.4 – Modello di carico di fatica n. 1

Il numero delle colonne di carichi mobili e la loro disposizione sono quelli massimi compatibili con la larghezza della carreggiata considerata.

Posizione	Carico Asse Q_{ik} [KN]	q_{ik} [KN/mq]
Corsia numero 1	210	2,7
Corsia numero 2	140	0,75
Corsia numero 3	70	0,75
Altre corsie		0,75

9 COMBINAZIONI DI CARICO ANALISI STATICA

Si riportano di seguito le combinazioni di carico considerate nei 3 modelli.

FASE 1	1A_FR	1A_RA	1A_SLU
1: p.p.	1	1	1,35
2: Soletta	1	1	1,35

FASE 2	2A_FR	2B_FR	2A_RA	2B_RA	2A_SLU	2B_SLU
1: Perm. non strutturali	1		1		1,5	

FASE 3	3B_FR1	3B_FR2	3B_FR3	3B_RA1	3B_RA2	3B_RA3	3B_RA4	3B_RA5	3B_RA6	3B_SLU1	3B_SLU2
1: Traffico distribuito 1	0,4	0,4	0,4	1	1	1	1	1	1	1,35	1,35
2: Traffico tandem_1a	0,75			1			1			1,35	
3: Traffico tandem_1b		0,75			1			1			1,35
4: Traffico tandem_1c			0,75			1			1		
11: Vento ponte carico Y-				0,6	0,6	0,6				0,9	0,9
12: Vento ponte carico Y+							0,6	0,6	0,6		

FASE 3	3B_SLU3	3B_SLU4	3B_SLU5	3B_SLU6
1: Traffico distribuito 1	1,35	1,35	1,35	1,35
2: Traffico tandem_1a		1,35		
3: Traffico tandem_1b			1,35	
4: Traffico tandem_1c	1,35			1,35
11: Vento ponte carico Y-	0,9			
12: Vento ponte carico Y+		0,9	0,9	0,9

10 SOLLECITAZIONI ANALISI STATICA

Si riportano di seguito gli involuপি SLU di sollecitazione nelle travi, riferiti alla differenti fasi dell'analisi statica. .

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-16709	42
	[Bm:25]	[Bm:4]

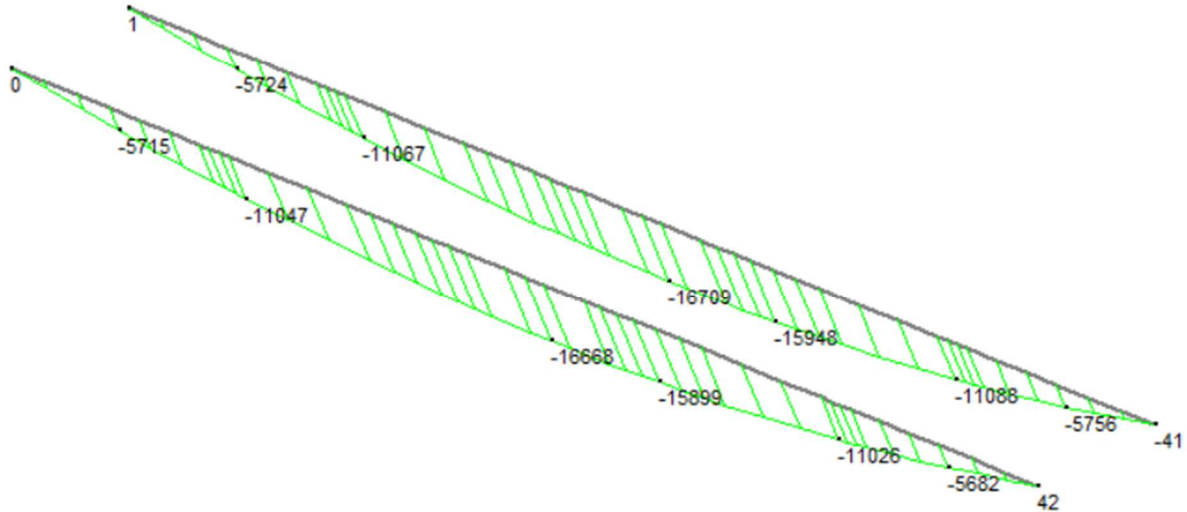


Figura 19 – Modello FEM Fase 1 – Momento flettente [kNm] – 1A_SLU

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-8571	13
	[Bm:25]	[Bm:4]

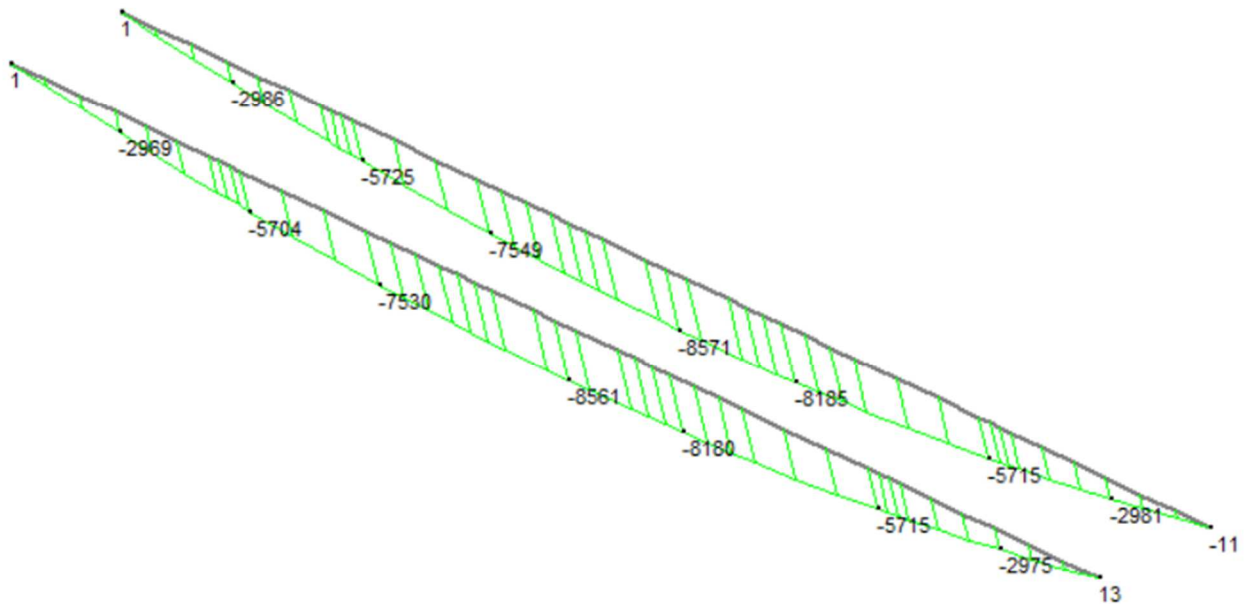


Figura 20 – Modello FEM Fase 2 – Momento flettente [kNm] – 2A_SLU

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-23747	608
	[Bm:12]	[Bm:4]

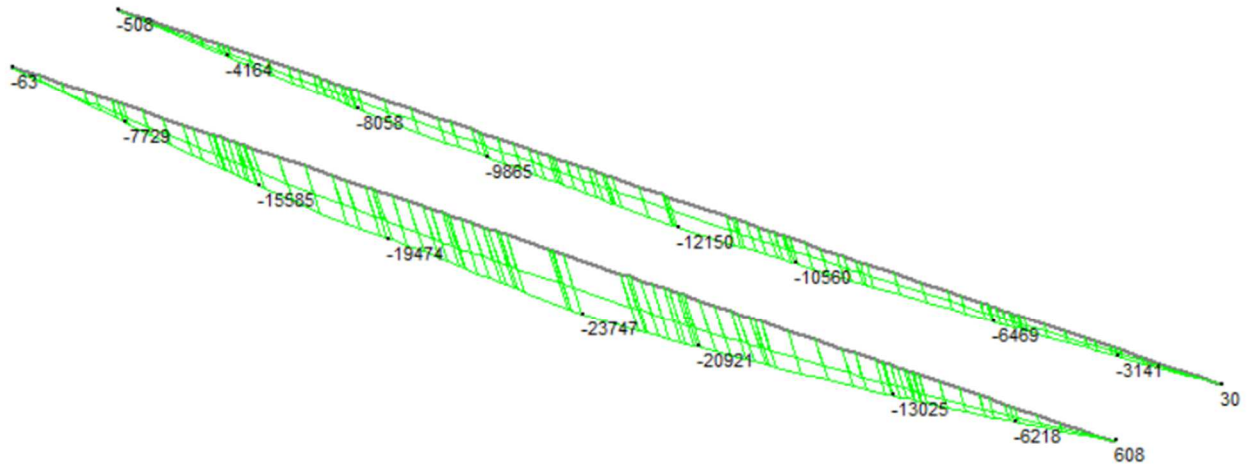


Figura 21 – Modello FEM Fase 3 – Momento flettente [kNm] – Env. 3B_SLU

	MIN	MAX
SF2(kN)	-1259	1259
	[Bm:14]	[Bm:4]

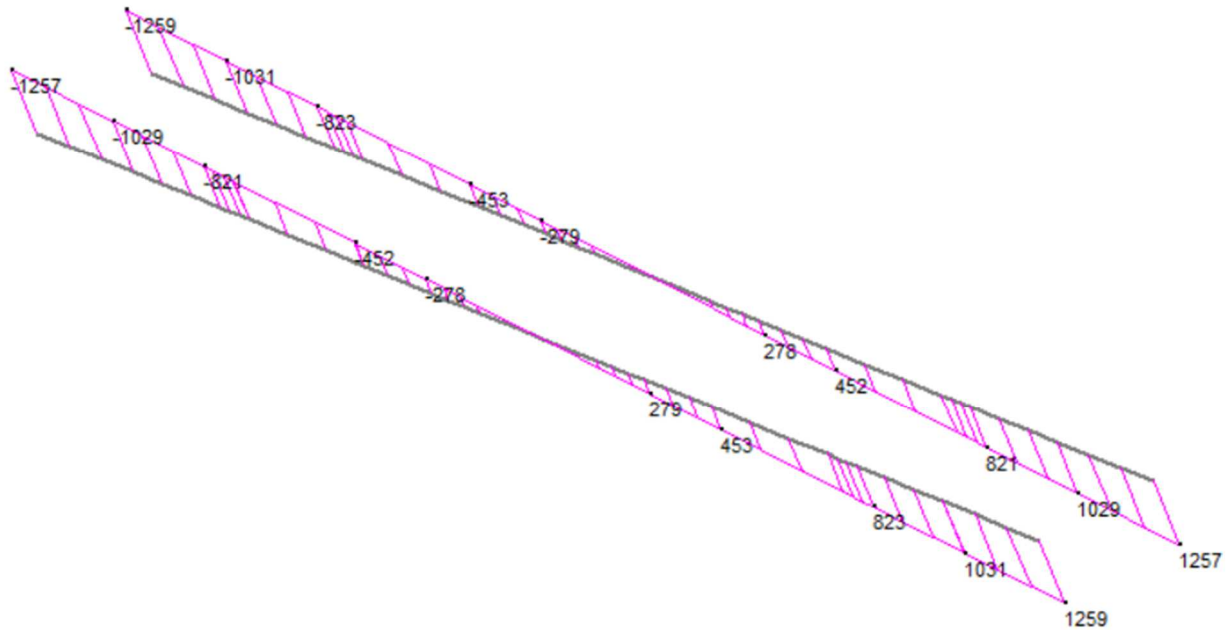


Figura 22 – Modello FEM Fase 1 – Taglio [kN] – 1A_SLU

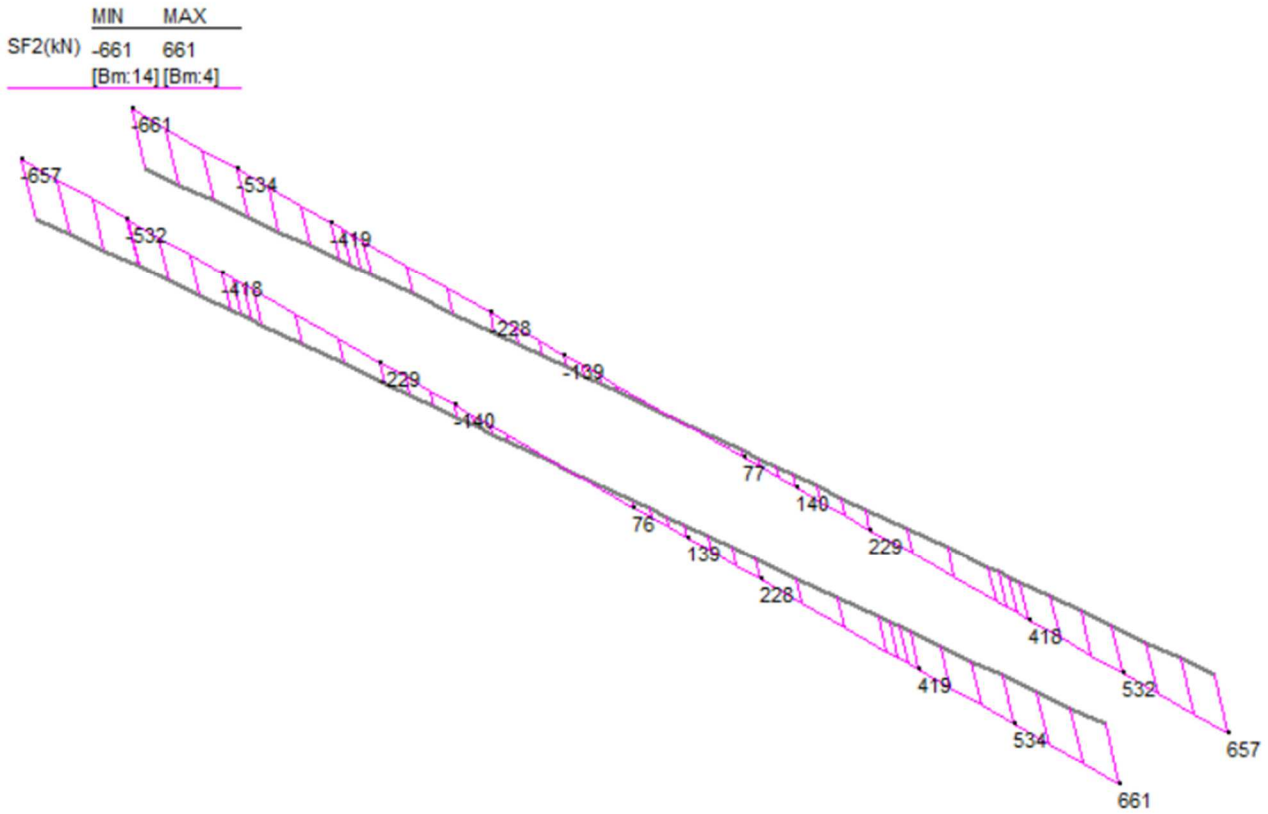


Figura 23 – Modello FEM Fase 2 – Taglio [kN] – 2A_SLU

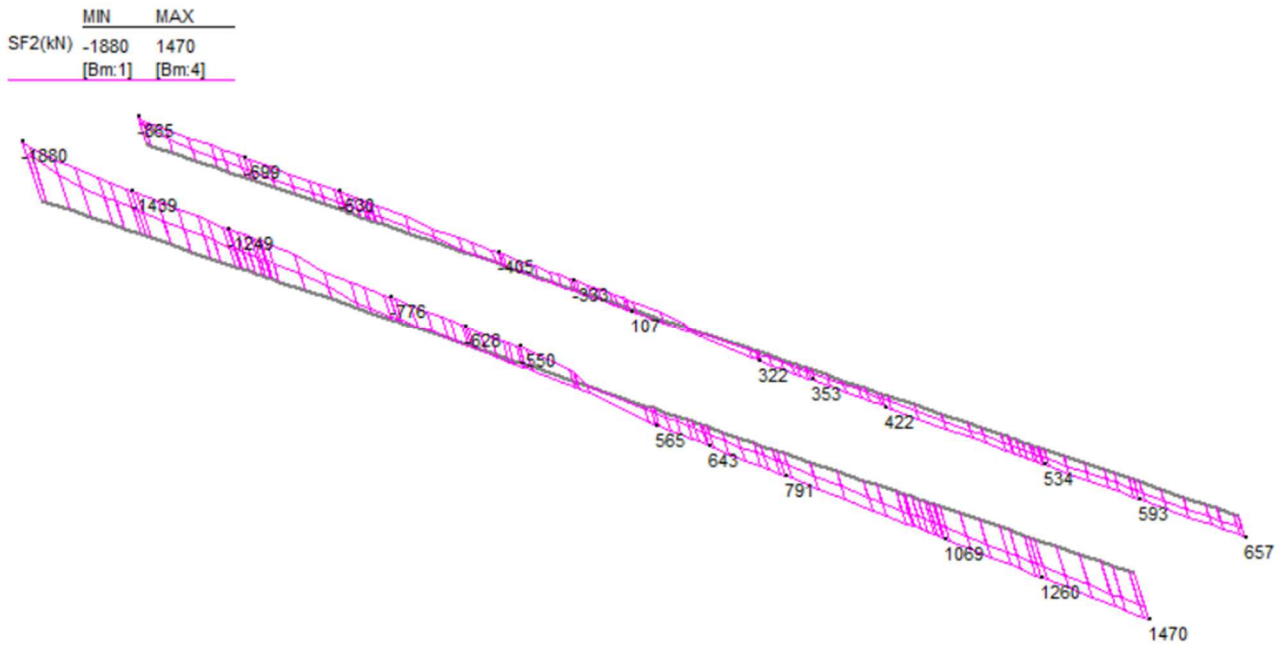


Figura 24 – Modello FEM Fase 3 – Taglio [kN] – Env. 3B_SLU

Si riportano di seguito gli involucri SLU di sollecitazione nei diaframmi, riferiti alla differenti fasi dell'analisi statica.

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-14	4
	[Bm:30]	[Bm:29]

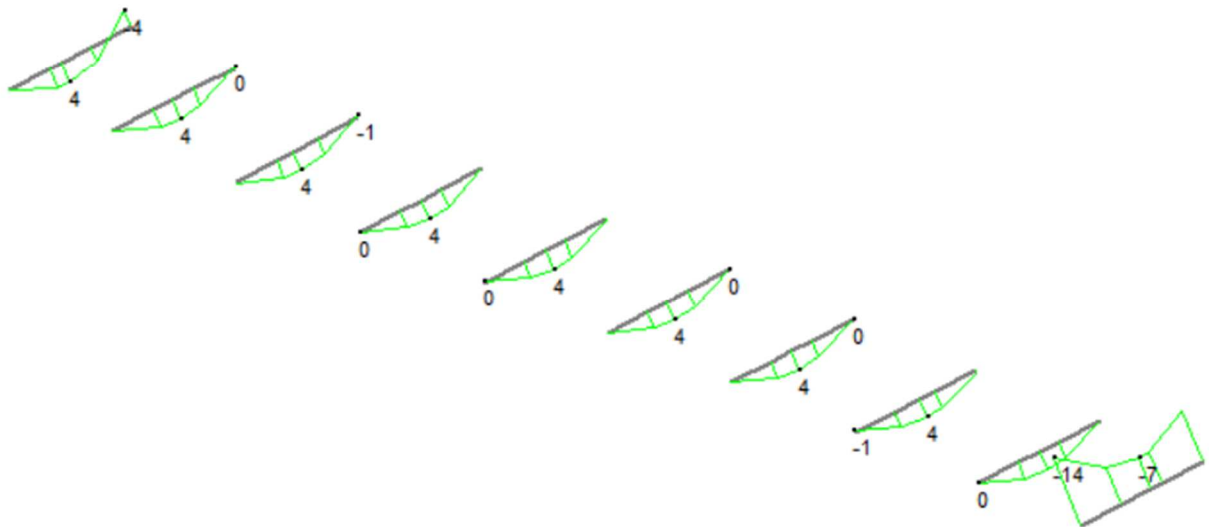


Figura 25 – Modello FEM Fase 1 – Momento flettente [kNm] – 1A_SLU

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-6	3
	[Bm:30]	[Bm:28]

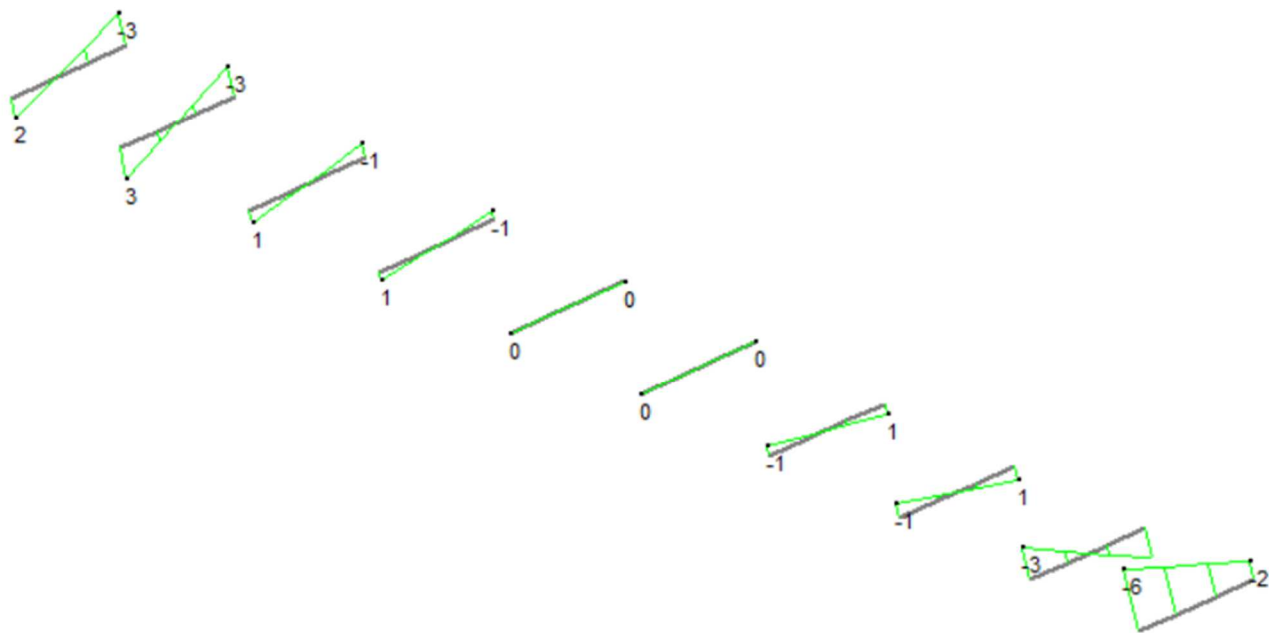


Figura 26 – Modello FEM Fase 2 – Momento flettente [kNm] – 2A_SLU

	MIN	MAX
SF2(kN)	-6	6
	[Bm:29]	[Bm:30]

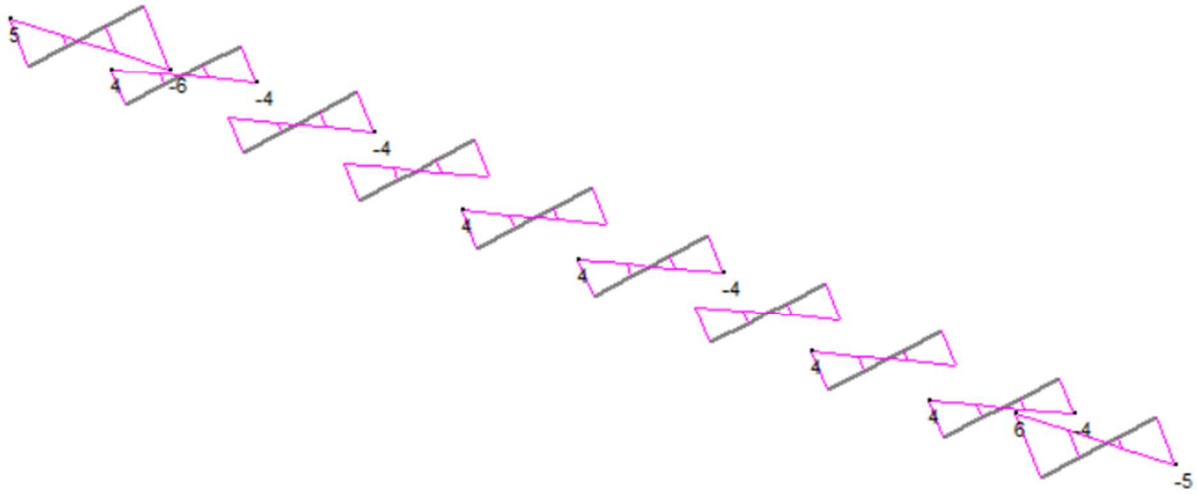


Figura 27 – Modello FEM Fase 1 – Taglio [kN] – 1A_SLU

	MIN	MAX
SF2(kN)	-1	1
	[Bm:27]	[Bm:28]

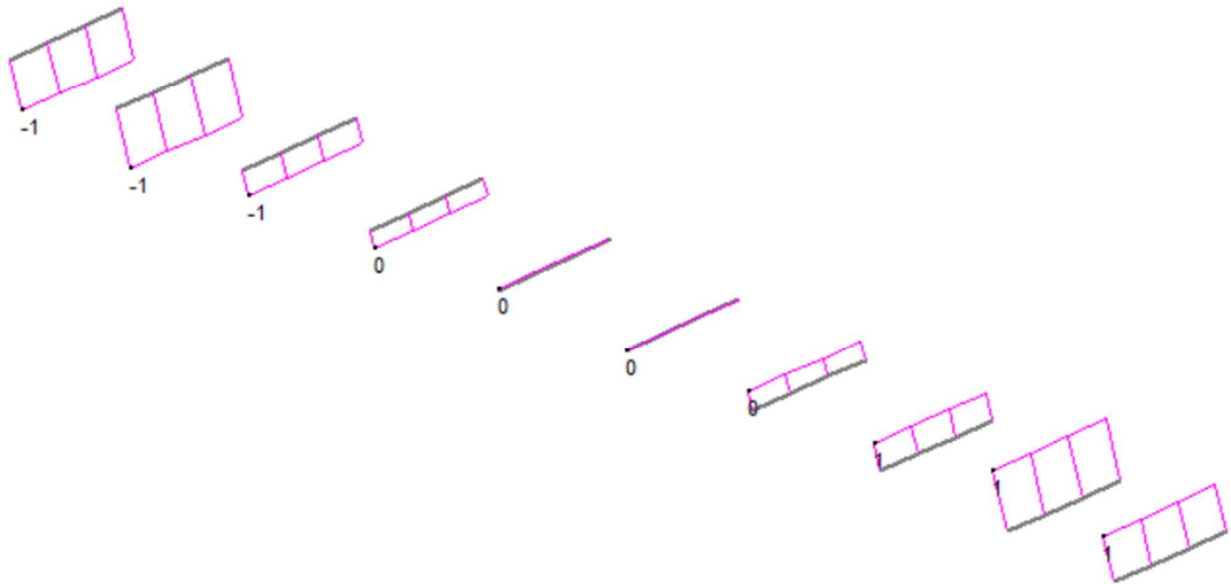


Figura 28 – Modello FEM Fase 2 – Taglio [kN] – 2A_SLU

11 ANALISI DINAMICHE IMPALCATO

La valutazione delle azioni sismiche è stata effettuata attraverso un'analisi dinamica modale.

11.1 Azione Sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica del sito è definita in termini di:

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

L'accelerazione orizzontale massima attesa a_g è riferita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per ogni stato limite considerato.

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 NTC.

11.1.1 Stati limite di progetto sismici

Nel caso in esame l'opera viene realizzata nel Comune di Sesto San Giovanni (MI), di coordinate geografiche:

Latitudine N: 43.321°
 Longitudine E: 11.334°

Dato il periodo di riferimento della struttura $V_R = 100$ anni, si possono individuare i seguenti stati limite:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,063	2,522	0,260
SLD	101	0,078	2,510	0,265
SLV	949	0,173	2,513	0,283
SLC	1950	0,210	2,551	0,290

Figura 29 – Parametri sismici per i vari stati limite di progetto

Con riferimento alle caratteristiche dell'opera, si è analizzato il seguente stato limite di progetto:

- Stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la struttura subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali, mentre conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Probabilità di superamento $P_{VR} = 10\%$
 Tempo di ritorno $T_R = -V_R / \ln(1-P_{VR}) = -100 / \ln(1-0.10) = 949$ anni

11.1.2 Spettri di risposta

Per il sito in esame, in base alle caratteristiche geotecniche di riferimento e dalla morfologia del terreno, il sottosuolo può essere classificato come:

Categoria sottosuolo	"C" (§ 3.2.2, Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
Categoria topografica	"T1" (§ 3.2.2, Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$)

Lo spettro di risposta elastico orizzontale $S_e(T)$ del sisma è definito dalle espressioni seguenti:

$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T_D \cdot T_C}{T^2} \right]$
T	periodo di vibrazione orizzontale [s]
$S_e(T)$	accelerazione spettrale orizzontale [m/s ²]
$S = S_S \cdot S_T$	coefficiente della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche
S_S	coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi tabella seguente)
S_T	coefficiente di amplificazione topografica (vedi tabella seguente)
$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$	fattore che altera lo spettro elastico per smorzamento viscosi diversi dal 5%
ξ	coefficiente di smorzamento viscoso [%]
F_0	fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima
$T_C = C_C \cdot T_C^*$	periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro
C_C	coefficiente definito nella tabella seguente
$T_B = T_C / 3$	periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante
$T_D = 4 \cdot a_g / g + 1,6$	periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	$1.0 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.0 \leq 1.70 - 0.6 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.0 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Figura 30 – Coefficienti di amplificazione stratigrafica orizzontale

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 del rilievo	1.2

T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4
----	--	-----

Figura 31 – Coefficienti di amplificazione topografica

Lo spettro di risposta elastico verticale $S_{ve}(T)$ del sisma è definito dalle espressioni seguenti:

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

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

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

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

T periodo di vibrazione verticale [s]

$S_{ve}(T)$ accelerazione spettrale verticale [m/s^2]

$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot (a_g/g)^{0,5}$ fattore che quantifica l'accelerazione spettrale massima

I parametri S_s , T_B , T_C e T_D per la definizione dello spettro verticale sono indipendenti dalla categoria di suolo e assumono i valori riportati nella tabella seguente.

Categoria 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

Figura 32 – Coefficienti di amplificazione stratigrafica verticale

Le capacità dissipative della struttura possono essere considerate nella fase di analisi attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare è lo spettro elastico ridotto sostituendo nelle formule corrispondenti η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. Si assume comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

q_0 valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione

K_R fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione

Restando a favore di sicurezza, si trascura la capacità dissipativa delle strutture assumendo $q = 1.00$ sia per la componente orizzontale che verticale dello spettro di progetto.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,173 g
F_o	2,513
T_C^*	0,283 s
S_S	1,440
C_C	1,593
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,440
η	1,000
T_B	0,150 s
T_C	0,451 s
T_D	2,291 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,249
$T_B \leftarrow$	0,150	0,625
$T_C \leftarrow$	0,451	0,625
	0,538	0,523
	0,626	0,450
	0,714	0,395
	0,801	0,351
	0,889	0,317
	0,976	0,288
	1,064	0,265
	1,152	0,245
	1,239	0,227
	1,327	0,212
	1,415	0,199
	1,502	0,187
	1,590	0,177
	1,677	0,168
	1,765	0,160
	1,853	0,152
	1,940	0,145
	2,028	0,139
	2,116	0,133
	2,203	0,128
$T_D \leftarrow$	2,291	0,123
	2,372	0,115
	2,454	0,107
	2,535	0,100
	2,616	0,094
	2,698	0,089
	2,779	0,084
	2,861	0,079
	2,942	0,075
	3,023	0,071
	3,105	0,067
	3,186	0,064
	3,267	0,060
	3,349	0,058
	3,430	0,055
	3,512	0,052
	3,593	0,050
	3,674	0,048
	3,756	0,046
	3,837	0,044
	3,919	0,042
	4,000	0,040

Figura 33 – Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{nv}	0,097 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,000
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,410
S	1,000
η	1,000

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,097
$T_B \leftarrow$	0,050	0,243
$T_C \leftarrow$	0,150	0,243
	0,235	0,155
	0,320	0,114
	0,405	0,090
	0,490	0,075
	0,575	0,064
	0,660	0,055
	0,745	0,049
	0,830	0,044
	0,915	0,040
$T_C \leftarrow$	1,000	0,037
	1,094	0,031
	1,188	0,026
	1,281	0,022
	1,375	0,019
	1,469	0,017
	1,563	0,015
	1,656	0,013
	1,750	0,012
	1,844	0,011
	1,938	0,010
	2,031	0,009
	2,125	0,008
	2,219	0,007
	2,313	0,007
	2,406	0,006
	2,500	0,006
	2,594	0,005
	2,688	0,005
	2,781	0,005
	2,875	0,004
	2,969	0,004
	3,063	0,004
	3,156	0,004
	3,250	0,003
	3,344	0,003
	3,438	0,003
	3,531	0,003
	3,625	0,003
	3,719	0,003
	3,813	0,003
	3,906	0,002
	4,000	0,002

Figura 34 – Parametri dello spettro di risposta verticale allo SLV

11.2 Masse efficaci e variabilità del moto sismico

Per la determinazione delle azioni sismiche è stato considerato il totale delle masse G associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G = G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

- G₁ masse dei pesi propri strutturali
- G₂ masse dei carichi permanenti non strutturali
- Q_{kj} masse dei carichi accidentali

Con riferimento a § 3.2.4 delle NTC, si ritiene trascurabile in fase sismica il contributo delle azioni accidentali, pertanto vengono considerati i contributi dei soli carichi permanenti.

Nel modello fem è stata considerata la sola massa dell'impalcato, attribuita alle travi principali come "non-structural mass", per le condizioni di carico relative a Peso proprio delle travi metalliche, Soletta e Permanente non strutturale.

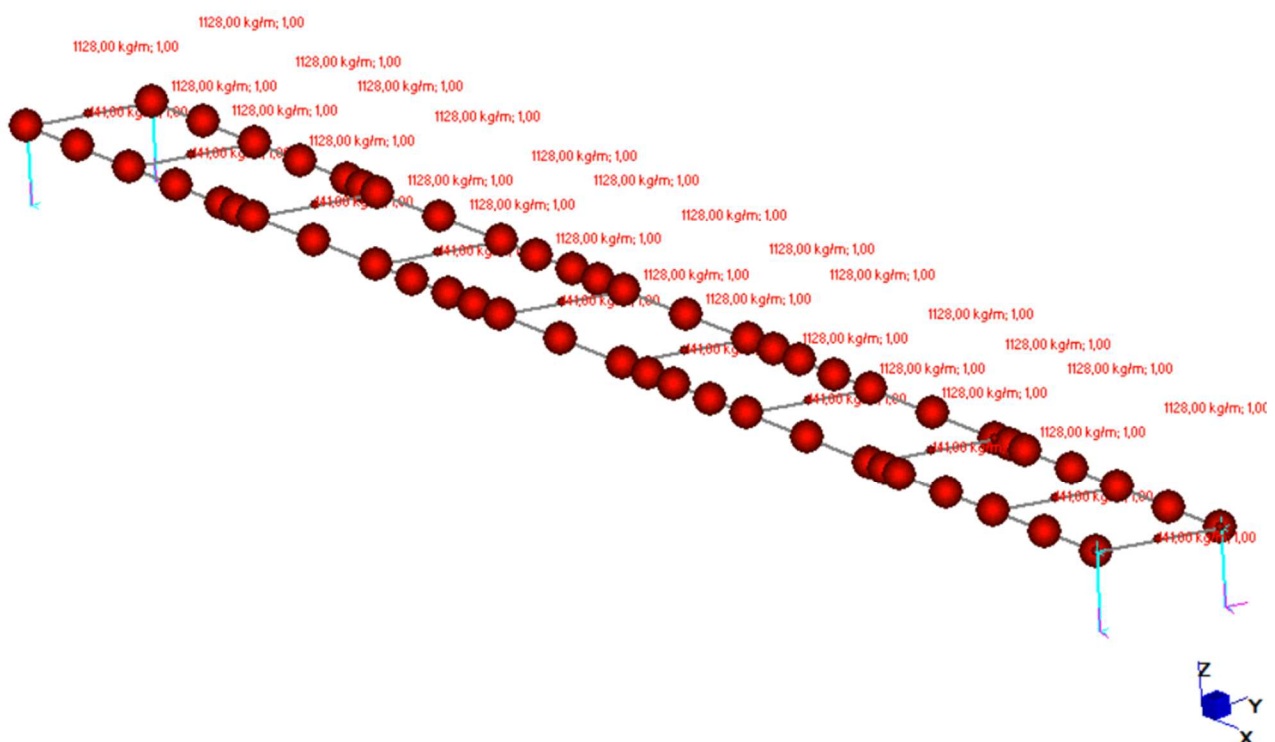


Figura 35 – Modello FEM Sismica – p.p - Non-structural mass

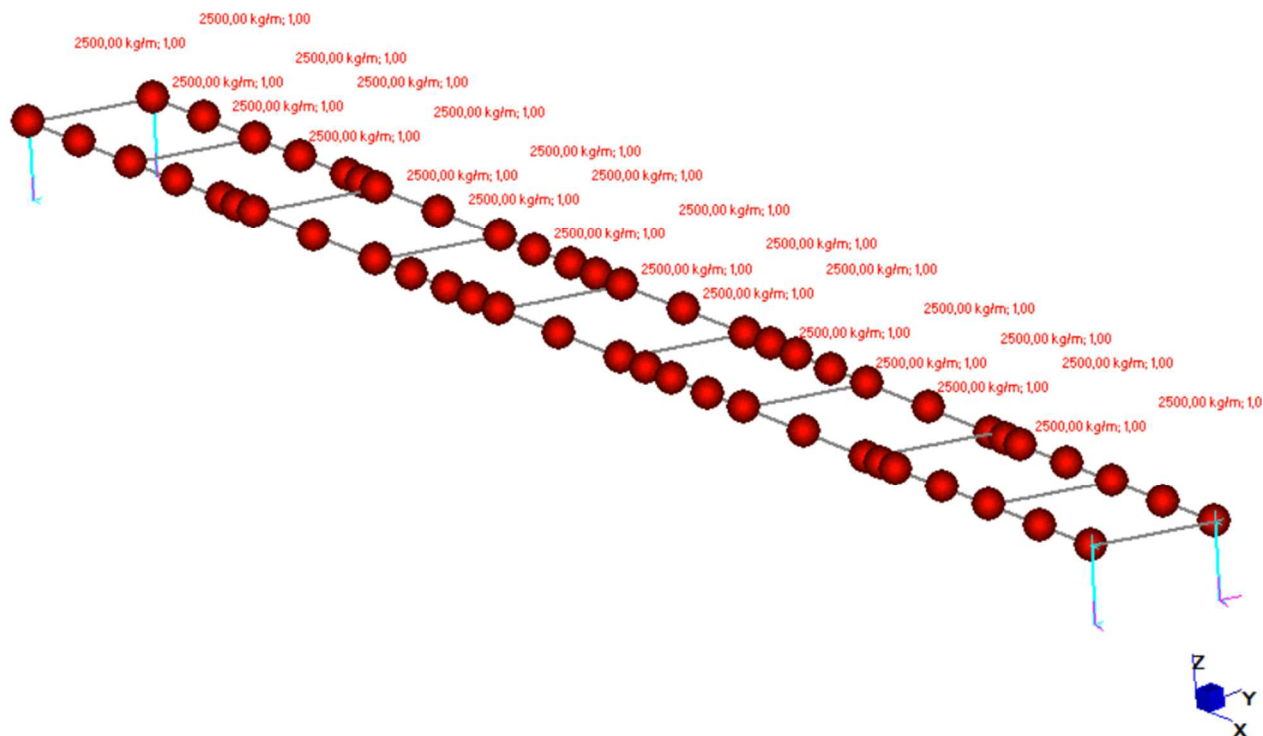


Figura 36 – Modello FEM Sismica – Soletta - Non-structural mass

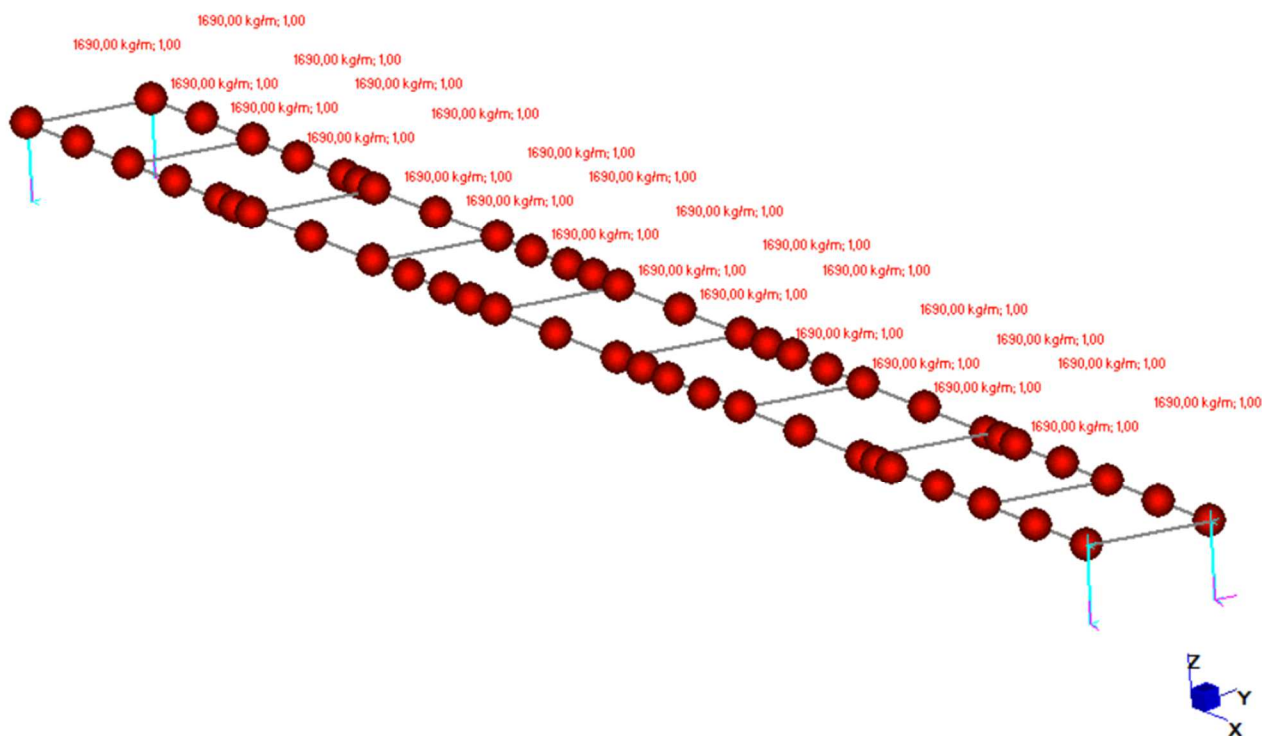


Figura 37 – Modello FEM Sismica – Perm. Non strutturali - Non-structural mass

Si è tenuto conto della variabilità del moto sismico orizzontale considerando le tre direzioni principali di oscillazione, in accordo con il §7.3.5 delle NTC, secondo le seguenti relazioni:

$$E_1 = E_x + 0.30 \cdot E_y + 0.30 \cdot E_z$$

$$E_2 = 0.30 \cdot E_x + E_y + 0.30 \cdot E_z$$

$$E_3 = E_x + 0.30 \cdot E_y + 0.30 \cdot E_z$$

Le azioni inerziali E_h e E_v vengono calcolate in automatico dal software di calcolo applicando gli spettri elastici orizzontali e verticali di progetto al modello strutturale numerico.

11.3 Analisi dinamica modale con spettro di risposta di progetto

L'analisi modale, arrestata ai primi 20 modi, fornisce i seguenti valori di frequenza e massa eccitata.

MODE PARTICIPATION					
Mode	Frequency (Hz)	Modal Mass (Engineering)	PF-X (%)	PF-Y (%)	PF-Z (%)
1	1.610E+00	3.008E+05	0.018	82.108	0.002
2	2.074E+00	3.115E+05	6.188	0.003	83.266
3	2.338E+00	3.171E+05	0.012	0.180	0.006
4	5.180E+00	3.117E+05	12.734	0.021	0.287
5	6.434E+00	5.241E+05	22.184	0.253	1.614
6	6.936E+00	2.439E+05	17.050	0.063	0.696
7	9.106E+00	1.638E+05	6.938	4.052	0.198
8	1.091E+01	7.178E+04	0.537	7.340	0.009
9	1.190E+01	2.527E+05	22.097	2.746	0.077
10	1.600E+01	7.921E+04	0.314	0.233	0.476
11	1.958E+01	1.154E+05	0.298	0.005	2.648
12	2.032E+01	1.523E+05	2.841	0.006	5.666
13	2.306E+01	9.864E+04	1.267	1.531	0.924
14	2.465E+01	1.924E+05	0.049	0.512	0.045
15	2.585E+01	1.684E+05	0.000	0.035	0.000
16	2.842E+01	2.075E+05	0.004	0.020	0.003
17	3.008E+01	9.784E+04	0.064	0.030	0.000
18	3.088E+01	2.106E+05	0.016	0.046	0.005
19	3.127E+01	3.017E+05	0.004	0.010	0.005
20	3.336E+01	3.704E+05	0.002	0.032	0.222
TOTAL MASS PARTICIPATION FACTORS			92.618	99.225	96.150

Nelle figure seguenti sono mostrati i modi di vibrazioni più significativi.

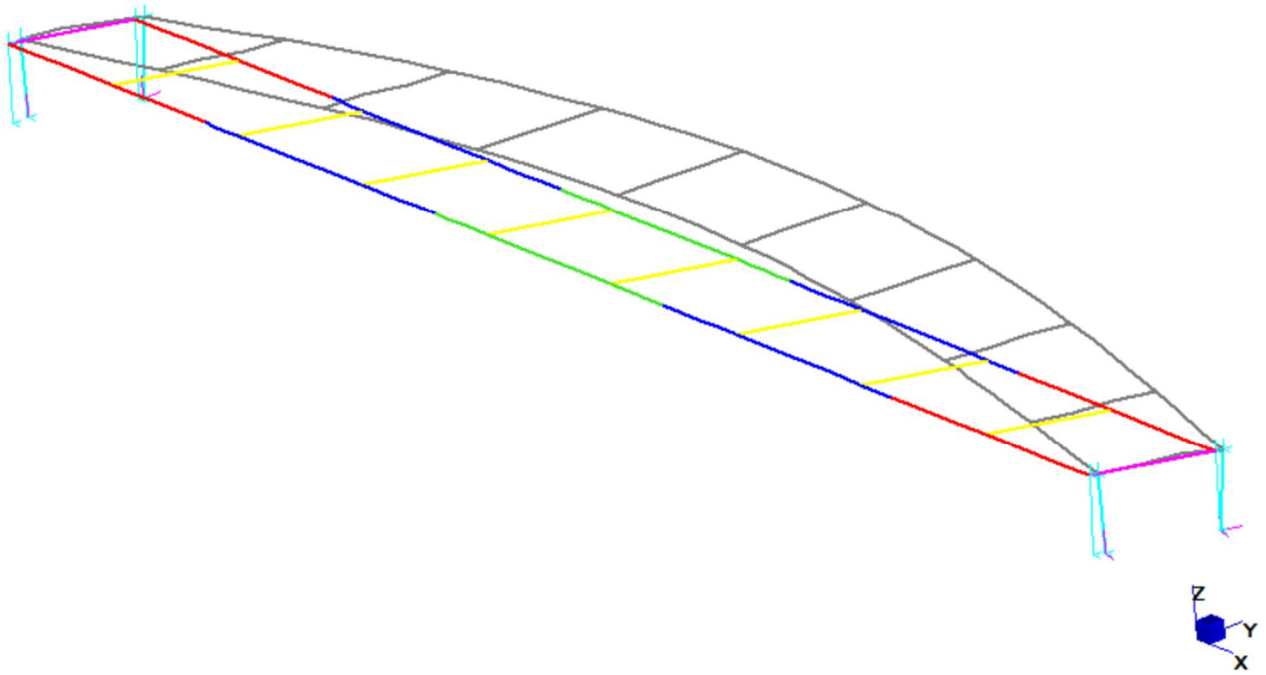


Figura 38 – Modo di vibrazione 1 – $f = 1,610$ Hz

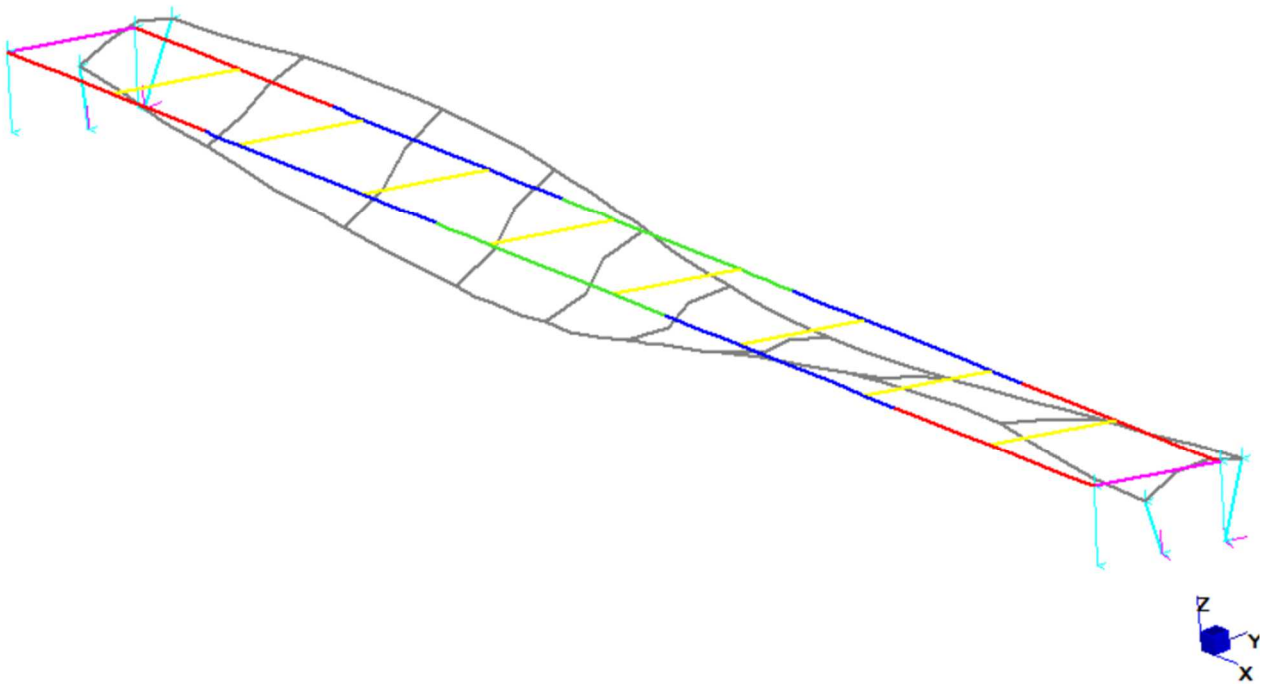


Figura 39 – Modo di vibrazione 5 – $f = 6,434$ Hz

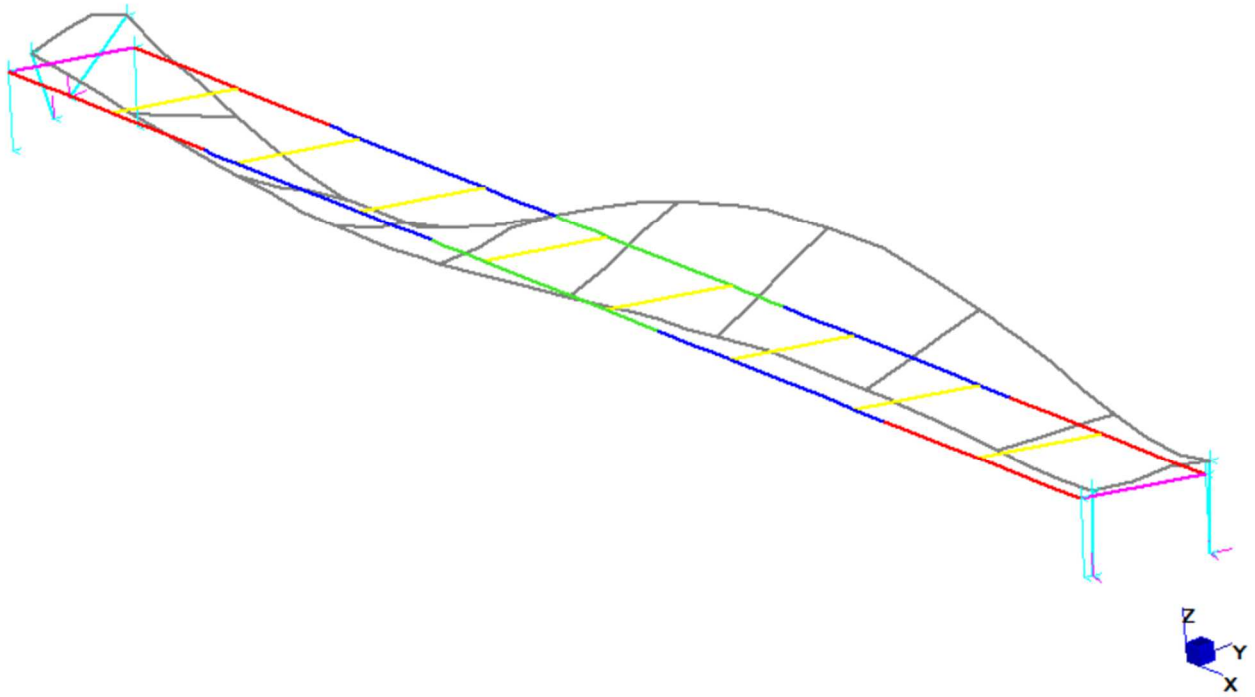


Figura 40 – Modo di vibrazione 9 – $f = 11,903$ Hz

11.4 Combinazione delle risposte modali

La combinazione dei massimi modali viene effettuata secondo il metodo CQC.

Si riportano nelle figure seguenti le deformate associate a sisma longitudinale e trasversale allo SLV.

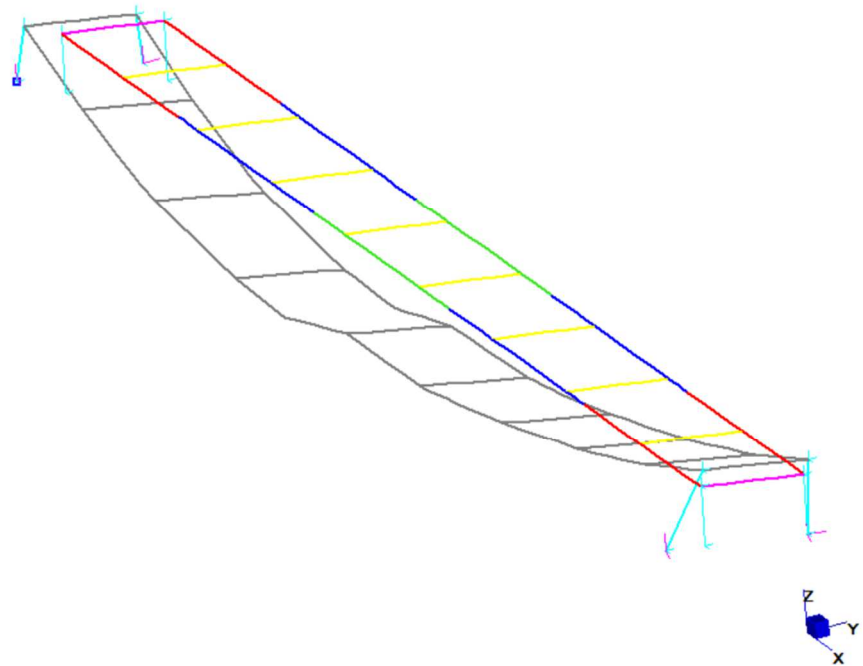
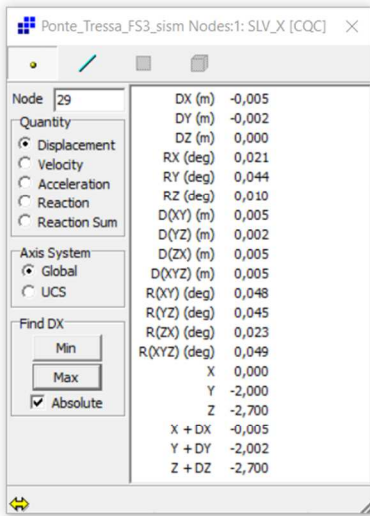


Figura 41 – SLV_Sisma X – Deformata

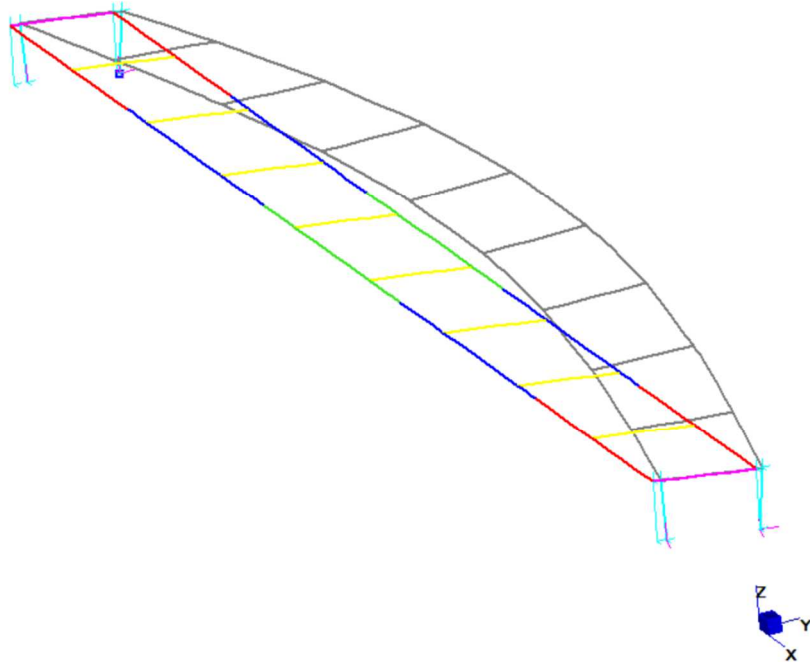
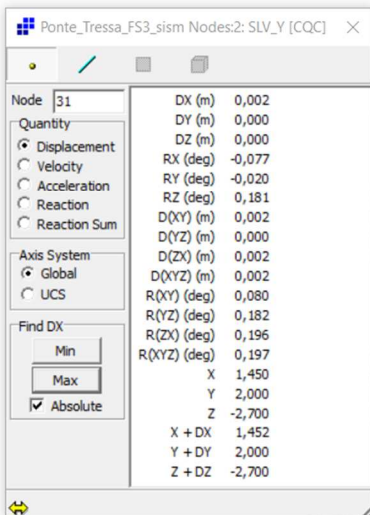


Figura 42 – SLV_Sisma Y – Deformata

12 VERIFICHE IMPALCATO METALLICO

12.1 Generalità

L'analisi e la verifica della struttura d'impalcato sono state condotte in accordo a quanto dichiarato nei capitoli precedenti della presente relazione.

Nel presente capitolo vengono riportate, per ciascuna tipologia di verifica, le generalità della procedura seguita e il riepilogo sintetico dei risultati, espressi in termini di coefficienti di sicurezza o di rapporti di sfruttamento.

I criteri per la verifica della resistenza delle sezioni (cross section checks) sono contenuti nelle NTC cap 4.2., 4.3 e relative Istruzioni, e risultano in completo accordo con quanto previsto in Eurocodice + N.A.D. (rif. EN 1993-1-1, EN1993-1-5, EN 1993-2, EN1994-1-1, EN 1994-2).

Nel prosieguo si farà riferimento puntuale a quest'ultimo testo, caratterizzato da una trattazione più omogenea, e da un riferimento più puntuale relativamente alle varie regole applicative.

Nell'ambito dei vari S.L. considerati, si effettuano le seguenti verifiche sezionali:

S.L.U. : resistenza delle sezioni (incluse verifiche di local buckling)

S.L.E. : limitazione delle tensioni

web breathing

Fatica : verifica dell'ampiezza dei $\Delta\sigma$ (metodo dei coefficienti λ)

I medesimi S.L. verranno esaminati per la verifica della connessione trasverso-soletta; relativamente alle verifiche effettuate si rimanda allo specifico paragrafo.

Il complesso delle precedenti verifiche viene effettuato in automatico dal programma "Ponti EC4" per tutte le sezioni critiche, di cui nel seguito vengono espone in dettaglio le modalità operative attraverso il commento della reportistica di uno o più sezioni prese a campione.

12.2 Resistenza delle sezioni SLU

Le verifica S.L.U. di resistenza della sezione viene effettuata attraverso in seguenti passaggi:

- Preclassificazione della sezione

Effettuata sulla base delle caratteristiche geometriche dei singoli sottocomponenti

- Analisi plastica

Tracciamento dei domini di resistenza della sezione N/M_{rd} ed $N/M_{f,rd}$ (dominio della sezione privata dell'anima)

- Classificazione effettiva della sezione

Effettuata sulla base dell'effettivo valore di N_{Ed} , M_{Ed} per la combinazione in esame (max/min M_{Ed} , max/min V_{Ed} , con i rispettivi valori concomitanti)

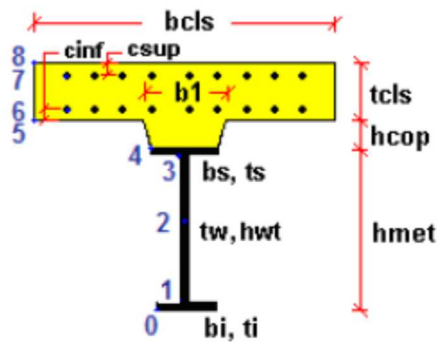
- Verifica a plastica a pressoflessione (sezioni cl. 1 e 2):

Valutazione del massimo rapporto di sfruttamento plastico $\eta_{1,}$; effettuata con riferimento a N_{Ed} , M_{Ed} agenti isolatamente, e per effetto combinato.

- Verifica elastica a pressoflessione (sezioni cl. 3-4)

valutazione del massimo rapporto di sfruttamento elastico η_1 , effettuata rispettivamente per le sezioni in classe 3/4 con riferimento alle caratteristiche geometriche lorde/efficaci. Le caratteristiche geometriche efficaci vengono dedotte in maniera iterativa, tenendo conto delle flessioni parassite che nascono per effetto dell'eccentricità assunta dall'azione assiale di progetto causata dallo "shift" progressivo dell'a.n.e..

Le tensioni vengono valutate in corrispondenza delle 8 fibre indicate nello schema seguente.



Nell'ambito del calcolo tensionale, la soletta viene considerata "cracked" (non reagente) all'atto dell'annullamento della tensione di compressione valutata in corrispondenza della fibra media. Contestualmente all'annullamento della soletta, si annullano anche le sollecitazioni da ritiro primario.

- **Verifica a taglio - sezioni non soggette a "shear buckling"**

Viene effettuato il calcolo del taglio resistente plastico, ed il calcolo del rapporto di sfruttamento a taglio.

- **Verifica a taglio - sezioni suscettibili di "shear buckling"**

per sezioni soggette a "shear buckling" viene valutato il coefficiente di riduzione χ_w , e successivamente valutato il taglio resistente $V_{b,Rd}$ come somma dei contributo resistenti dell'anima $V_{bw,Rd}$ e, se applicabile, delle flange $V_{bf,Rd}$.

- **Verifica interazione azione assiale - flessione - taglio (tutte le classi)**

Si adotta univocamente, per tutte le classi di sezione, l'approccio proposto da EN 1993-1-5, cap. 7.1, che consiste nella valutazione di un rapporto di sfruttamento modificato in funzione dei singoli rapporti di sfruttamento valutati per pressoflessione e taglio agenti separatamente. L'adozione di questa formulazione risulta a rigore solo leggermente più cautelativa di quella riservata alle sezioni di classe 1 - 2, per le quali l'interazione N-M-V si risolverebbe con la deduzione di un rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali valutato con riferimento ad una anima opportunamente ridotta per tenere conto dell'influenza del taglio (cfr. EN 1994-2 cap. 6.2.2.4.(2)).

Un'ulteriore ipotesi cautelativa, riservata alla verifica di sezioni in classe 3-4, è l'utilizzo sistematico del rapporto di sfruttamento elastico η_1 in luogo di quello plastico η_1 , indipendentemente dall'andamento delle tensioni lungo l'anima (a rigore la EN 1993-1-5, cap. 7.1.(4) e (5) prevede tale accortezza solo qualora l'anima risulta interamente in compressione).

Come già evidenziato relativamente al calcolo del contributo resistente a taglio delle flange, le resistenze plastiche della sezione completa e della sezione privata dell'anima sono rilevate direttamente dai rispettivi domini di interazione, per cui:

$$M_{pl,Rd} = M_{pl(N),Rd}$$

$$M_{f,Rd} = M_{f(N),Rd}$$

Si rileva incidentalmente che la disequaglianza associata alla formula di interazione presentata poco sopra evidenzia implicitamente che la formula non è applicabile (non vi è interazione) qualora il momento di progetto sia minore di quello sopportabile dalle sole flange.

Per sezioni in classe 3-4, il momento di progetto M_{Ed} viene valutato sulla base degli stress cumulati nella fibra più sollecitata ($M_{Ed,eq} = \max | W_{xi} \times \Sigma \sigma_{xi} |$).

Per le verifiche delle membrature in calcestruzzo si adotta l'usuale ciclo di verifica previsto dall'eurocode package 2, che comprende:

S.L.U. – verifica per tensioni normali e verifica a taglio

S.L.E. – verifica limitazione delle tensioni

S.L.E. frequente – verifica a fessurazione.

12.3 Verifiche travi longitudinali

Di riportano i risultati salienti delle verifiche, espressi in generale in termini di rapporti di sfruttamento.

Le sollecitazioni di verifica vengono direttamente dedotte dalle combinazioni del modello ad elementi finiti.

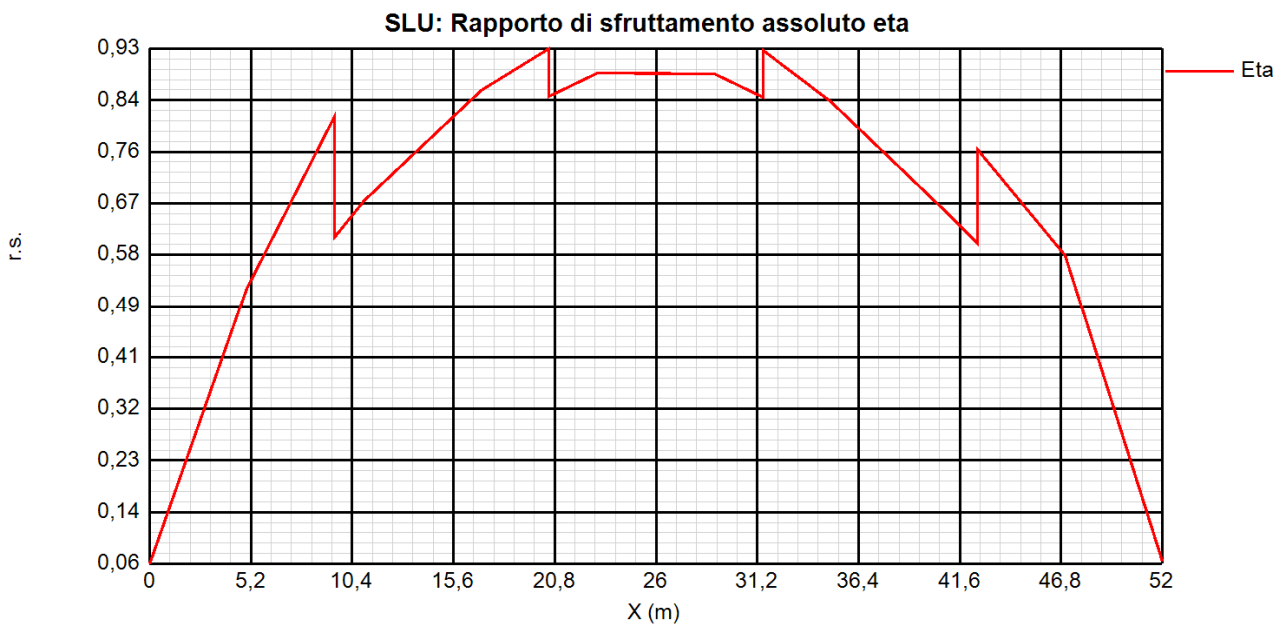
Data la configurazione planimetrica dell'opera, che presenta asse curvo, l'attenzione viene focalizzata sulla trave di bordo esterna.

12.3.1 Rapporti di sfruttamento resistenza SLU

Si riportano di seguito i diagrammi dei seguenti rapporti di sfruttamento:

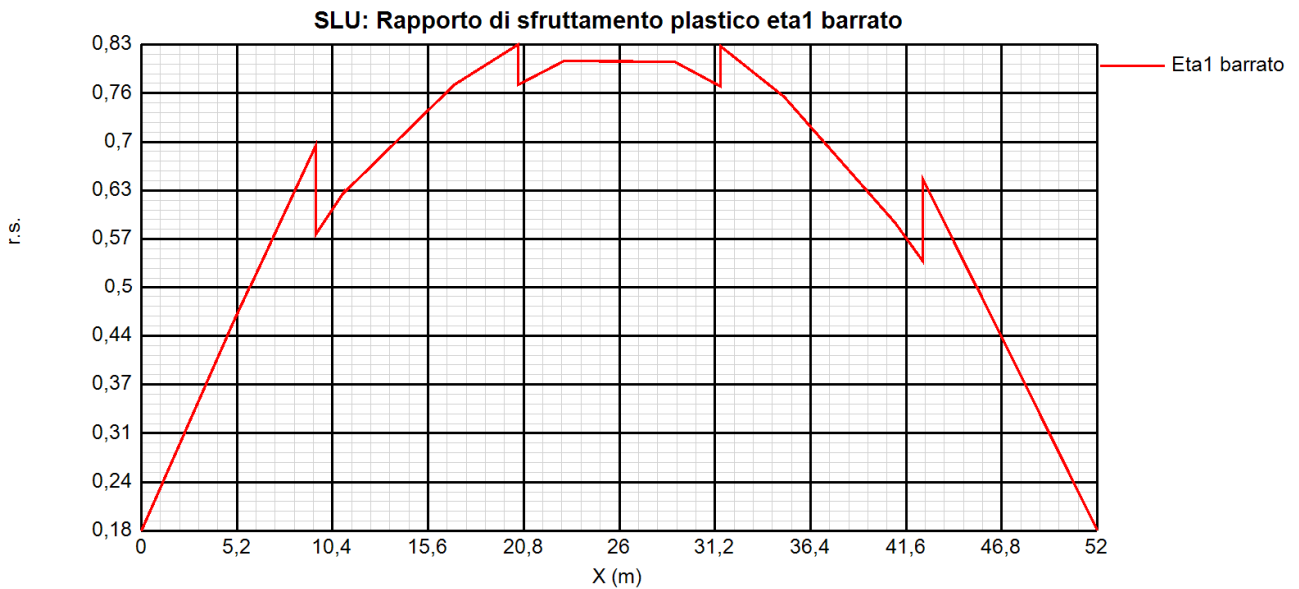
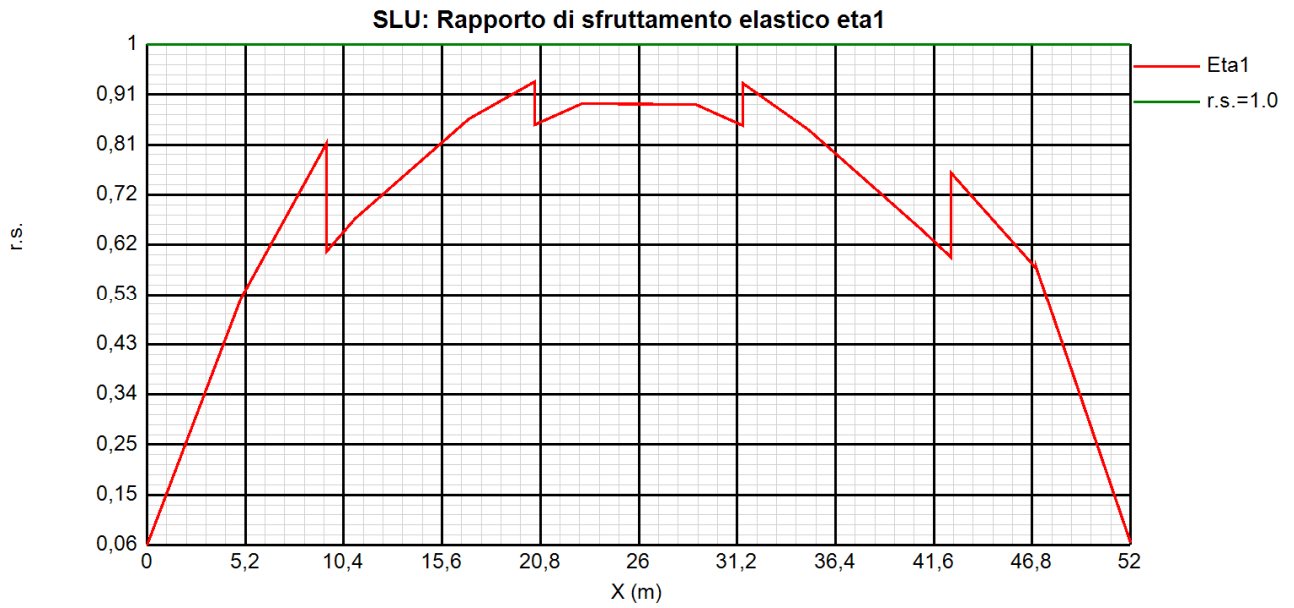
max η assoluto

Derivante dall'interazione N/M/V (EN1993-1-5, 7.1.(1)); nei casi in cui non vi è interazione, tale valore coincide con il rapporto di sfruttamento a flessione η_1 .



max η_1 / η_1

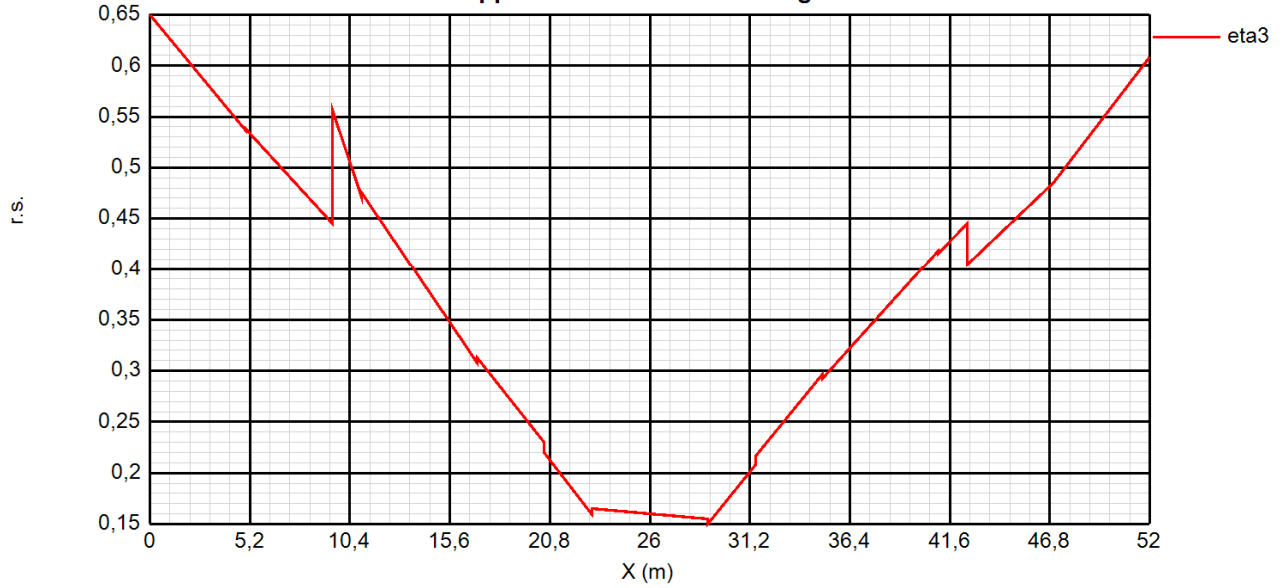
Rapporto di sfruttamento a flessione; nell'ambito delle condizioni di applicabilità dell'analisi plastica, esso coincide con il rapporto $\eta_1 = M_{Ed}/M_{pl}$ (rapporto di sfruttamento plastico); in tutti gli altri casi è pari a $\eta_1 = \sigma_{Ed}/(\gamma_{m0}f_{yk})$. I rapporti di sfruttamento a flessione, risp. elastici e plastici vengono tracciati indipendentemente dal campo di applicabilità; in ogni caso, il valore considerato nel calcolo del rapporto di sfruttamento assoluto considera di volta in volta il rapp. elastico/plastico in funzione degli effettivi limiti di applicabilità.



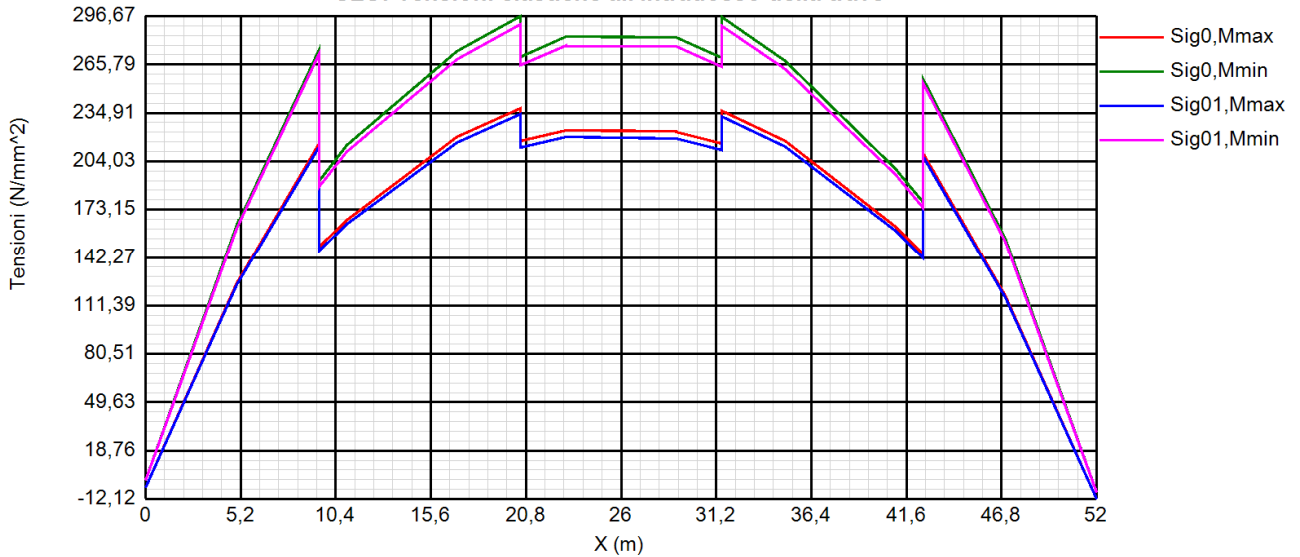
max η_3

Rapporto di sfruttamento a taglio $\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd}$

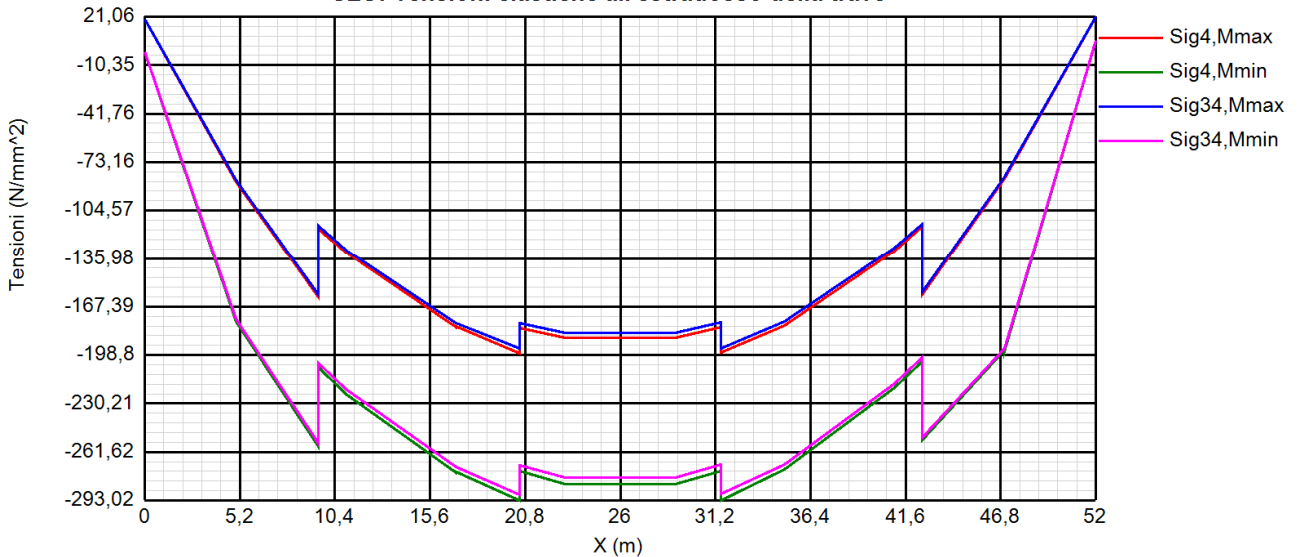
SLU: Rapporto di sfruttamento a taglio eta3



SLU: Tensioni elastiche all'intradosso della trave



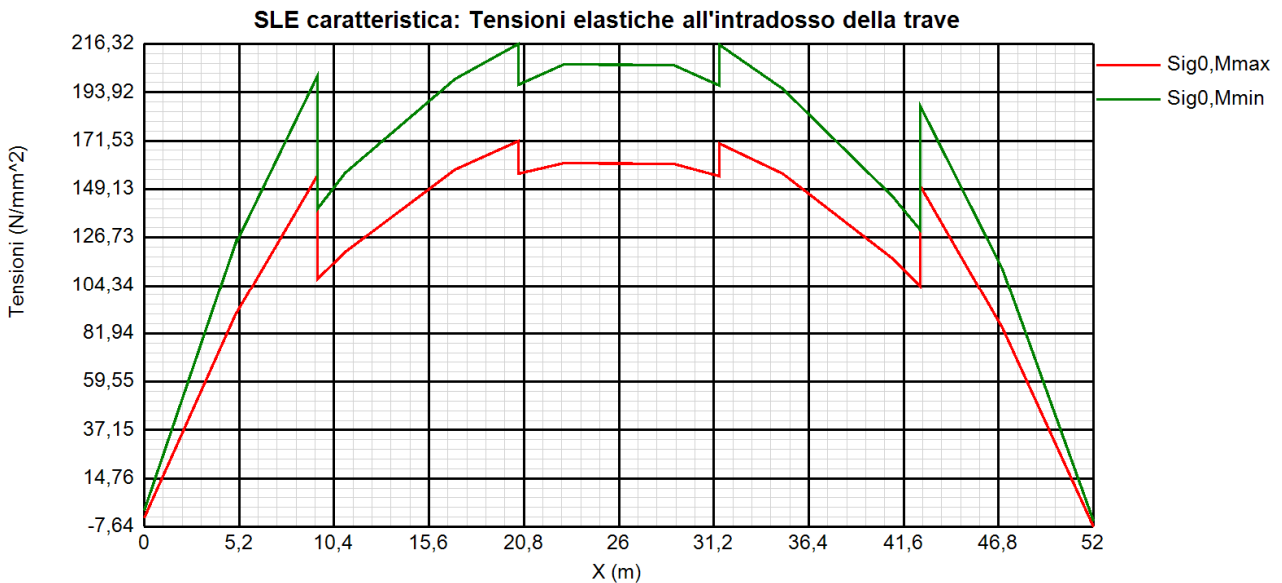
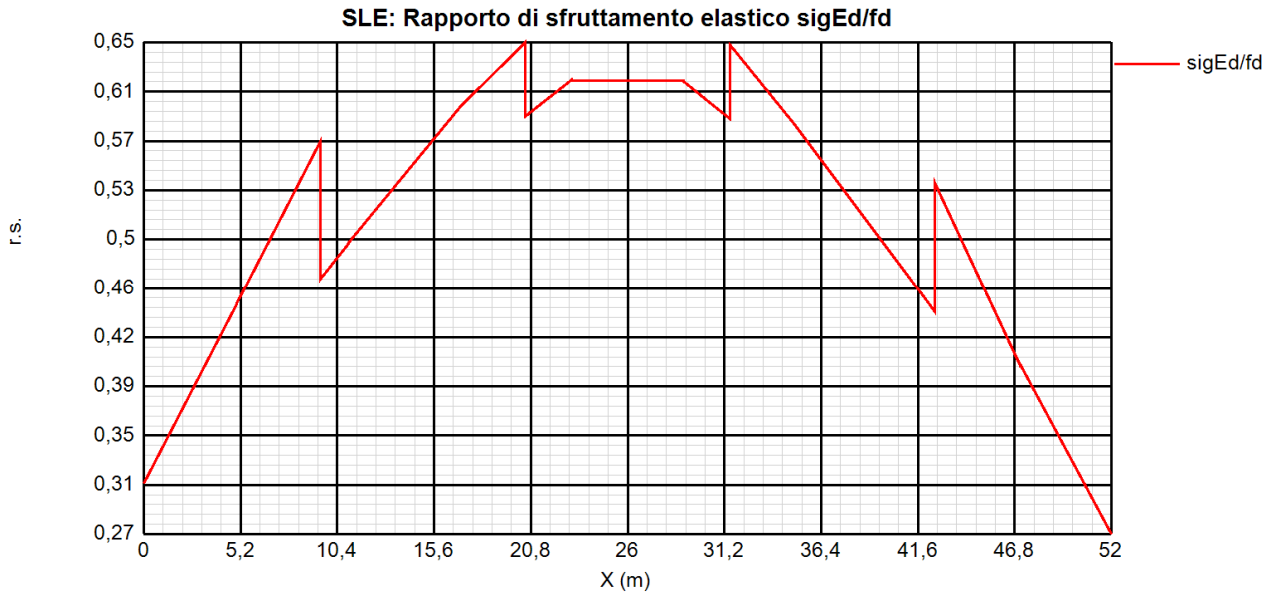
SLU: Tensioni elastiche all'estradosso della trave

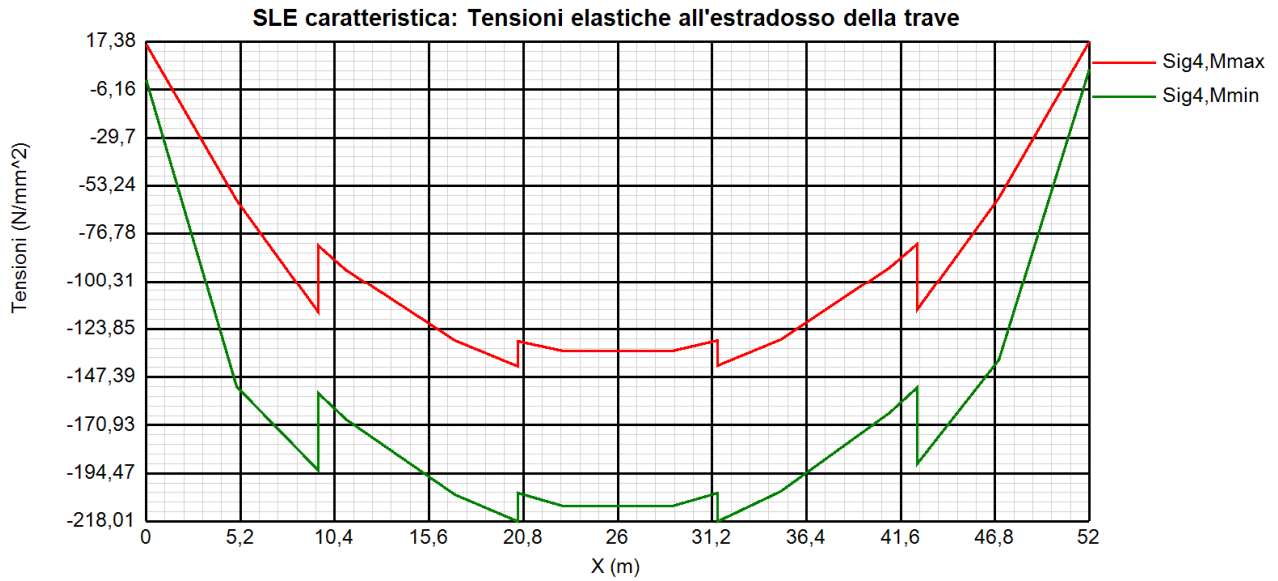


Come si nota, i rapporti di sfruttamento rilevati risultano in tutti i casi soddisfacentemente al di sotto dell'unità.

12.3.2 S.L.E. - limitazione delle tensioni – rapporti di sfruttamento

Di seguito si riporta l'andamento del rapporto di sfruttamento S.L.E. tra tensione di Von Mises e tensione di riferimento.

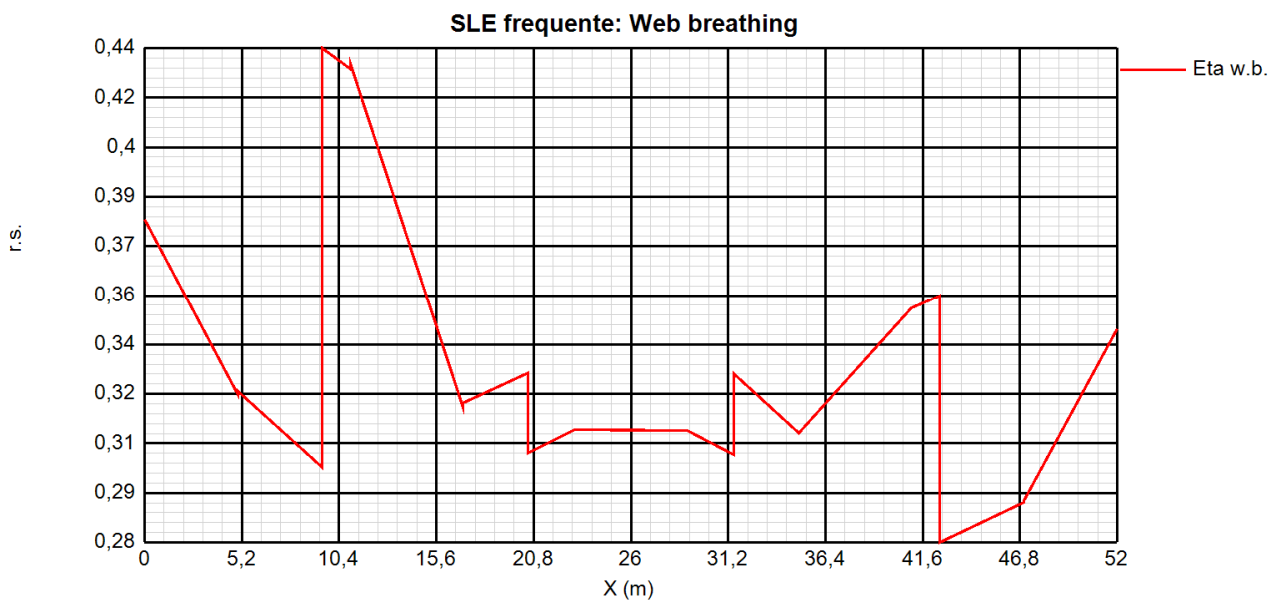




Come si può notare dall'esame del diagramma, i rapporti di sfruttamento S.L.E. appaiono soddisfacentemente al di sotto dell'unità.

12.3.3 Rapporti di sfruttamento SLE FR "web breathing"

Relativamente alla verifica di Web Breathing, i diagrammi seguenti riportano l'andamento del rapporto di sfruttamento.



La verifica risulta soddisfatta (si ricorda che la verifica è soddisfatta al limite con un rapp. Sfr. Max = 1.2)

12.4 Verifica connessione trave/soletta

Le specifiche relative al detailing della connessione traverso-soletta sono contenute in NTC-18, 4.3.4.1.2 e C.4.3.4. delle relative Istruzioni; per quanto riguarda i riferimenti Eurocodice, i cui contenuti sono perfettamente identici, si fa riferimento a EN 1994-1 e EN 1994-2. Le piolature adottate sono tutte a completo ripristino di resistenza.

Il ciclo di verifica delle piolature comprende i seguenti passi:

- Verifica tensioni S.L.U. (valido per sezioni con $\eta_1 \leq 1$)

Deduzione del massimo scorrimento "elastico" a taglio allo S.L.U. sul singolo piolo, nell'ambito delle condizioni M_{max}/M_{min} , V_{max}/V_{min} , e confronto con la portanza del piolo allo S.L.U.:

$$V_{L,Ed}(x) = V_{Ed}(x) S/J$$

$$V_{L,Ed}^{ULS} \leq 1.1 N_i/l_i P_{Rd}$$

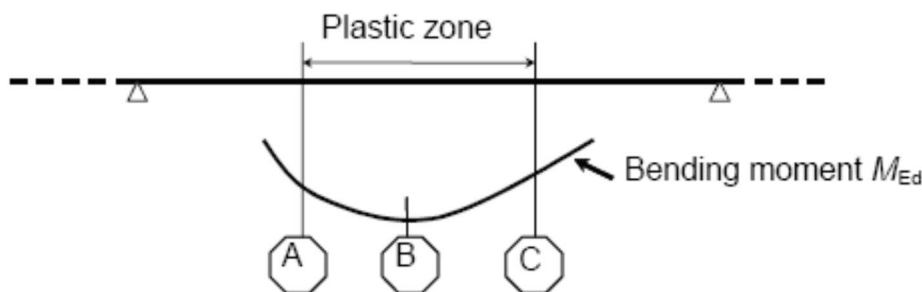
In cui S e J sono univocamente definite sulla base delle caratteristiche "uncracked"

Tale approccio risulta ovviamente valido solamente per le sezioni che non attingono alle proprie risorse extra elastiche ($\eta_1 \leq 1$). Per sezioni di classe 1-2, qualora il rapporto di sfruttamento elastico η_1 risulta maggiore di 1, non risulta più valido l'approccio di calcolo dello scorrimento ($v = VS/J$), ed è quindi necessario tenere conto in maniera non lineare della relazione tra azione tagliante V_e scorrimento v_L mediante l'approccio non lineare indicato al punto seguente.

- Verifica plastica S.L.U. (obbligatorio per sezioni con $\eta_1 > 1$)

Nelle zone plasticizzate (in generale a momento negativo) non risulta più valido l'approccio di calcolo dell'azione nei pioli basata sul flusso elastico: in questo caso, infatti, il legame fra il taglio per unità di lunghezza, le forze interne della soletta ed il momento flettente non è più lineare (EN 1994-2 cap. 6.6.2.2).

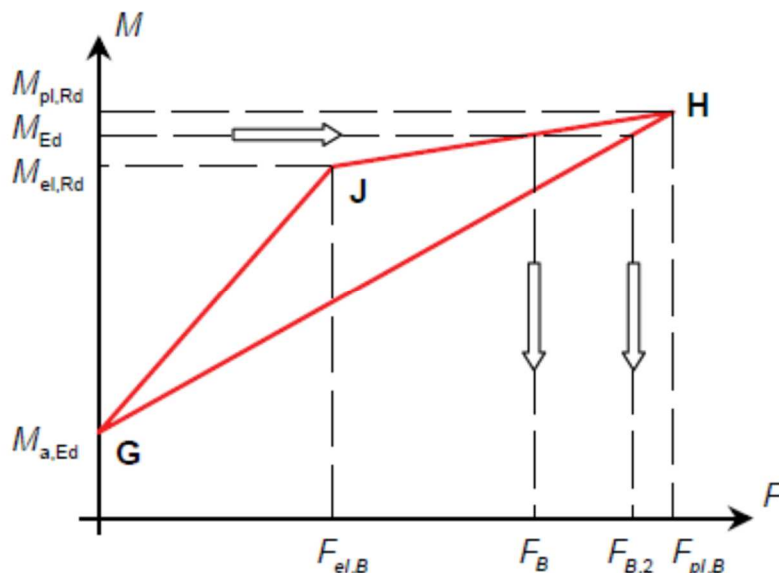
Il calcolo viene effettuato individuando, propedeuticamente, la regione entro la quale le sezioni attingono alle proprie risorse extra-elastiche. Tale regione (simmetrica nel caso in esame), è schematicamente rappresentata dai due punti di boundary A e C e dal punto di minimo momento (mezzeria) indicati nello schema seguente. I punti di boundary sono individuate dalle sezioni nelle quali la massima tensione è pari allo snervamento del materiale.



La verifica è di tipo "globale", e comprende la valutazione dello scorrimento in maniera diretta, mediante considerazioni di equilibrio del concio dei conci di soletta compresi tra la boundary ed il punto di minimo momento (concio di soletta compreso tra A e B e concio di soletta compreso tra B e C).

L'azione assiale insistente ai confini della zona plastica (punti A / B) è pari all'integrale delle tensioni rilevate lungo la soletta in calcestruzzo; a tale azione va aggiunta, per le verifiche nell'ambito della condizione "long term" l'effetto del ritiro primario.

L'azione assiale N_B è la risultante delle azioni in soletta, da valutarsi con riferimento all'effettivo stato, parzialmente "plastico" della sezione. Per il calcolo, si fa riferimento ai criteri di "non linear resistance to bending" contenuti in EN 1994-2 cap. 6.2.1.4.(6), con l'ausilio della costruzione riportata nel diagramma seguente, che riporta in un sistema d'assi M/N, i possibili stati della sezione di minimo momento flettente.



Si indica con:

- $M_{a,Ed}$ momento flettente agente sulla sola trave metallica
- $M_{el,Rd}$ momento flettente elastico
- M_{Ed} momento flettente di progetto
- $M_{pl,Rd}$ momento plastico della sezione
- $F_{el,B}$ azione assiale agente nella soletta, al raggiungimento del momento elastico (N_B)

Il diagramma è caratterizzato dai seguenti punti notevoli:

- G punto corrispondente al momento flettente della trave in fase 1
- H punto che individua il raggiungimento dello stato plastico della sezione, caratterizzato da $M_{pl,Rd}$ ed $F_{pl,B}$ (azione assiale plastica in soletta).
- J punto corrispondente allo yielding del prima fibra della sezione, caratterizzato da $M_{el,Rd}$ ed $F_{el,B}$ (risultante tensioni in soletta sotto l'azione di $M_{el,Rd}$).

Come si nota dal diagramma, l'effettiva azione assiale F_B insistente in soletta nel reale stato della sezione è rappresentato dalla linea verticale che interseca la retta JH all'ordinata corrispondente al momento di progetto M_{Ed} . In alternativa, operando in maniera semplificata, risulta possibile stabilire un limite superiore a N_B , intercettando direttamente la retta GH.

Si segue l'approccio "rigoroso" che, pur comportando la necessità di valutare $M_{el,Rd}$, comporta una stima più accurata di N_B .

Per il calcolo di $M_{el,Rd}$ ed $F_{el,B}$, viene valutato il fattore "k" (≤ 1) che, applicato al momento flettente agente sulla sezione composta $M_{c,Ed}$ (derivante da fase 2 e fase 3) comporta un quadro tensionale al limite di snervamento, e che implica pertanto l'espressione:

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + k M_{c,Ed}$$

Si avrà pertanto, con riferimento alle fibre estreme della sezione:

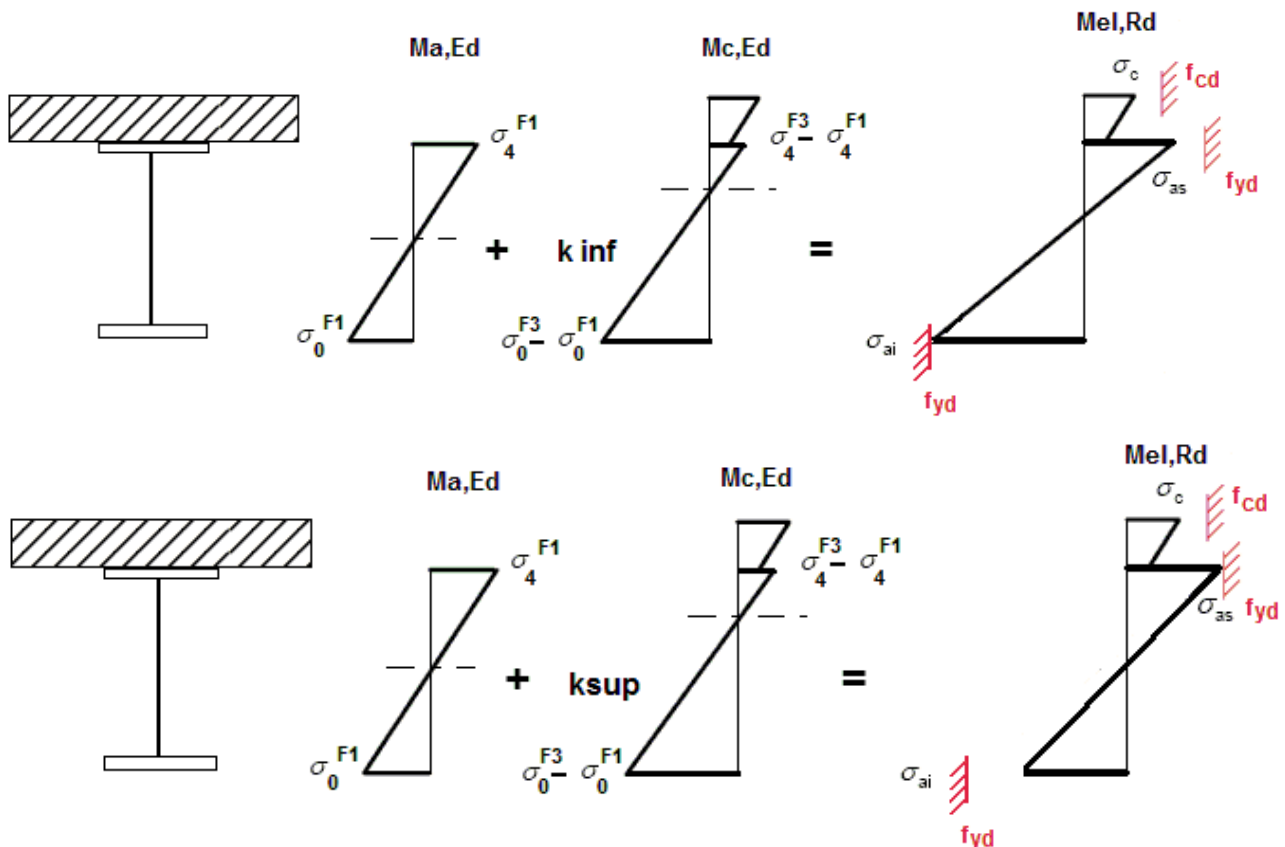
$$k = f_{yd} - \sigma_{if1} / \Delta\sigma_i$$

$i = 1$ o 4 (lombo inferiore/superiore trave metallica)

σ_{if1} = tensione alla fibra "i" della sezione in fase 1

$\Delta\sigma_i$ = variazione di tensione alla fibra "i" tra la fase 3 e la fase 1

Si utilizza uno dei due schemi di calcolo riportati nelle figure sottostanti, a seconda che la tensione di snervamento sia stata superata nella fibra inferiore oppure in quella superiore.



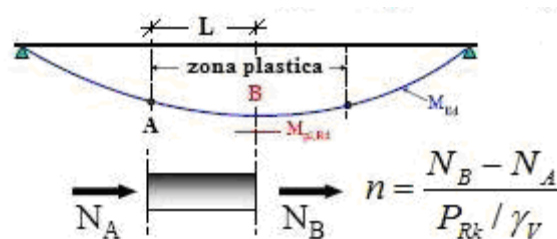
Quando la sezione è plasticizzata il coefficiente k risulta compreso fra 0 ed 1, e rappresenta il coefficiente moltiplicativo che riporta il diagramma di tensioni in fase 3 ad un diagramma al limite elastico.

Noto k è immediato valutare $M_{el,Ed}$ e la corrispondente azione assiale di soletta, tramite integrazione delle tensioni:

$$N_{el,Ed} = k \cdot (\sigma_5 + \sigma_8) / 2 \cdot A_{soletta}$$

Essendo σ_5 e σ_8 le tensioni normali nella soletta in fase 3, calcolate a partire da $M_{el,Ed}$.

Il numero di pioli necessario nella zona plastica è infine calcolabile, con riferimento allo schema ed alla formula seguente.



- Verifica tensioni S.L.E.

Deduzione del massimo scorrimento "elastico" a taglio allo S.L.E. sul singolo piolo, nell'ambito delle condizioni M_{max}/M_{min} , V_{max}/V_{min} , e confronto con la portanza del piolo allo S.L.E..

Il criterio di confronto dello scorrimento con la portanza della piolatura è identico a quello visto per la verifica delle tensioni S.L.U. , con ovvia sostituzione delle grandezze.

$$v_{L,Ed}^{SLS}(x) \leq \frac{N_i}{l_i} \cdot \{k_s P_{Rd}\}$$

$$v_{L,Ed}^{SLS} \leq N_i / l_i \cdot k_s P_{Rd}$$

- Verifica concentrazione scorrimenti per effetto del ritiro nelle zone di estremità trave

L'ammontare delle azioni di scorrimento per ritiro nelle zone di coda verrà affidato per intero all'armatura di continuità.

12.4.1 Caratteristiche piolatura

Il sistema di connessione trave/soletta è formato da pioli tipo Nelson elettrosaldati, di diametro $\varnothing 22$ mm ed altezza pari a 200 mm.

Per il singolo piolo, valori di riferimento (cfr. EN 1994-2, 6.6.3.1.(1)) nell'ambito delle verifiche S.L.U. e S.L.E. sono pertanto i seguenti:

$P_{rk,1} = 0.8 f_u \pi \varnothing^2/4$ rottura gambo

$P_{rk,2} = 0.29 \alpha \varnothing^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5}$ rottura calcestruzzo

con

f_u = tensione ultima del gambo del piolo

γ_v = coefficiente di sicurezza piolo

f_{ck} = resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo

E_{cm} = modulo elastico secante del calcestruzzo

$\alpha = 1$

Per i limiti dimensionali da rispettare nel detailing delle piolature si fa riferimento ai contenuti di NTC-18 cap. 4.3.4.3.4/EN 1994-2 cap. 6.6.5.. Di seguito si evidenzia il riferimento specifico a quest'ultimo testo normativo, più puntuale.

Il massimo interasse longitudinale delle piolature dovrà rispettare le seguenti limitazioni (EN1994-2 6.6.5.5(2)):

$e_{max}/t_f \leq 22 \varepsilon$

$e_{max}/t_f \leq 22 \cdot 0.81 = 17.9$

La distanza delle file longitudinali di pioli dal bordo dovrà rispettare le seguenti limitazioni (EN1994-2 6.6.5.5(2)):

$e_d/t_f \leq 9 \varepsilon$

$e_d/t_f \leq 9 \cdot 0.81 = 7.29$

$e_{d,min} = 25.0$ mm (1994-2 6.6.5.6(2))

La minima distanza misurata tra la parte inferiore della testa del piolo e lo strato inferiore di armatura dovrà essere > 40 mm.

I pioli dovranno rispettare le seguenti limitazioni dimensionali:

$h_p \geq 3d$ EN 1994-2 6.6.5.7.(1) h_p = altezza piolo

$d_t \geq 1.5d$ EN 1994-2 6.6.5.7.(2) d_t = diametro testa

$h_t \geq 0.4d$ EN 1994-2 6.6.5.7.(2) h_t = altezza testa

$d_p \geq 1.5t_{sup}$ EN 1994-2 6.6.5.7.(3) d_p = diam. piolo, t_{sup} = spessore flangia (*)

(*) per piattabande in tensione, soggette a fatica

$d_p \geq 2.5t_{sup}$ EN 1994-2 6.6.5.7.(5) d_p = diam. piolo, t_{sup} = spessore flangia (**)

(**) per tutte le piattabande

$d_p \geq 1.5t_{sup}$ EN 1994-2 6.6.5.7.(3) d_p = diam. piolo, t_{sup} = spessore flangia

L'interasse dei pioli dovrà rispettare le seguenti limitazioni dimensionali (EN1994-2 6.6.5.7.(4)):

$s_{lg} \geq 5 d_p$ in direzione longitudinale

$s_{tv} \geq 2.5 d_p$ in direzione trasversale

Nel rispetto delle limitazioni dimensionali espresse, per le tipologie previste di piolatura, la disposizione sulla piattabanda verrà organizzata come segue.

12.4.2 Rapporti di sfruttamento verifica elastica SLU - SLE

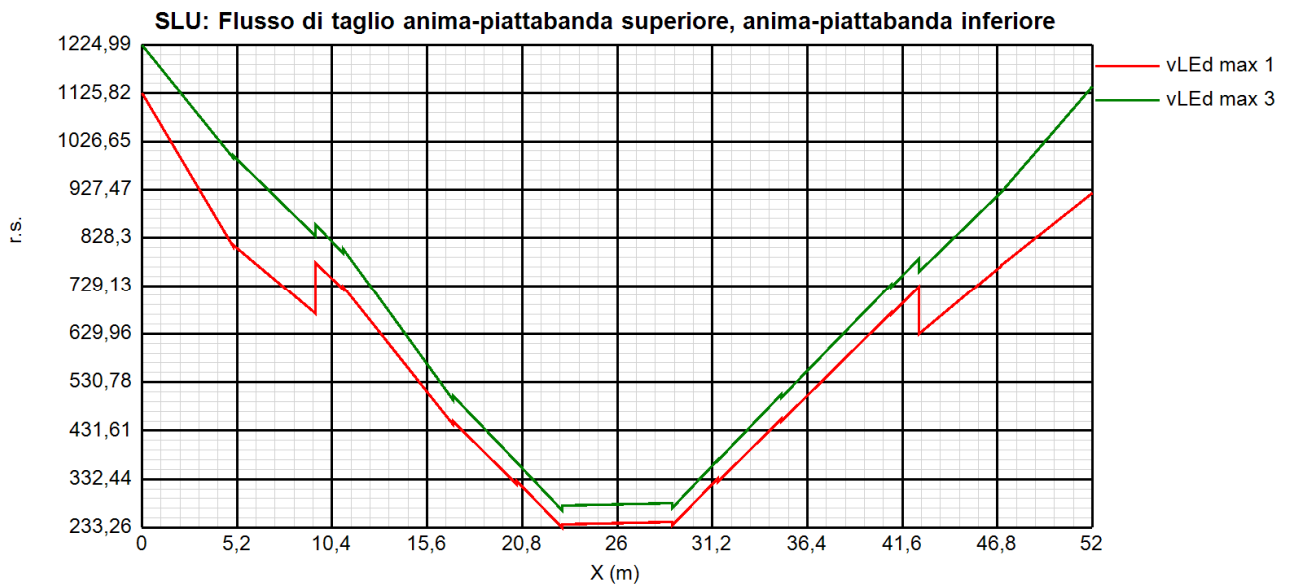
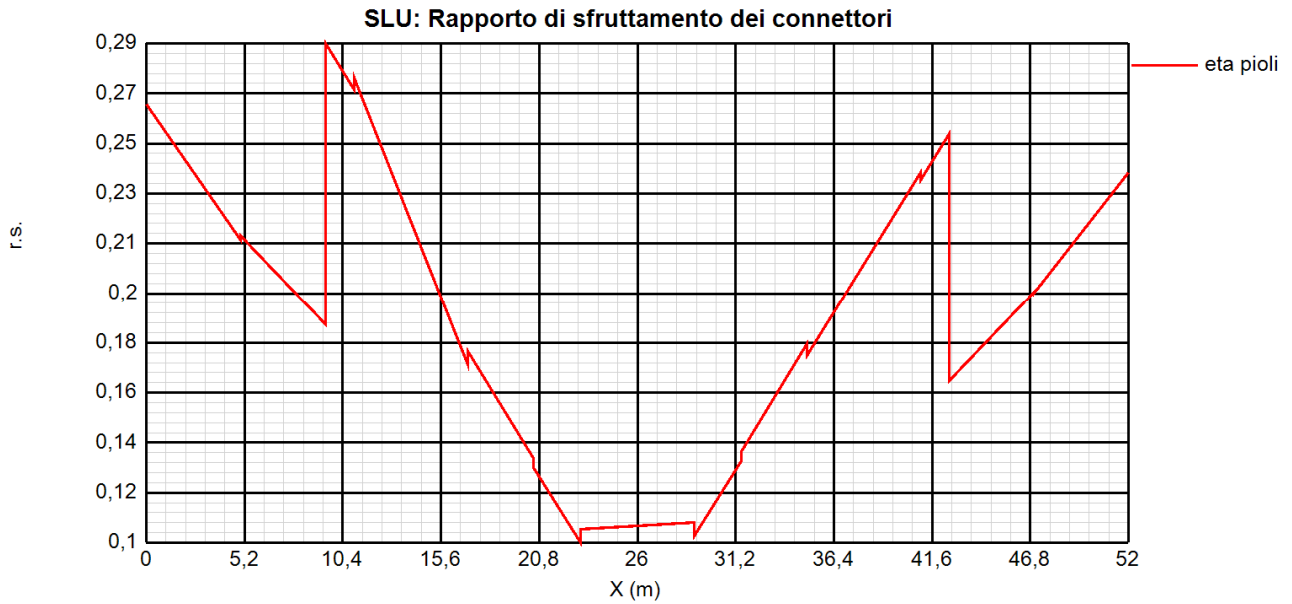
Le verifiche vengono effettuate con il programma PontiEC4, su tutti i traversi della struttura.

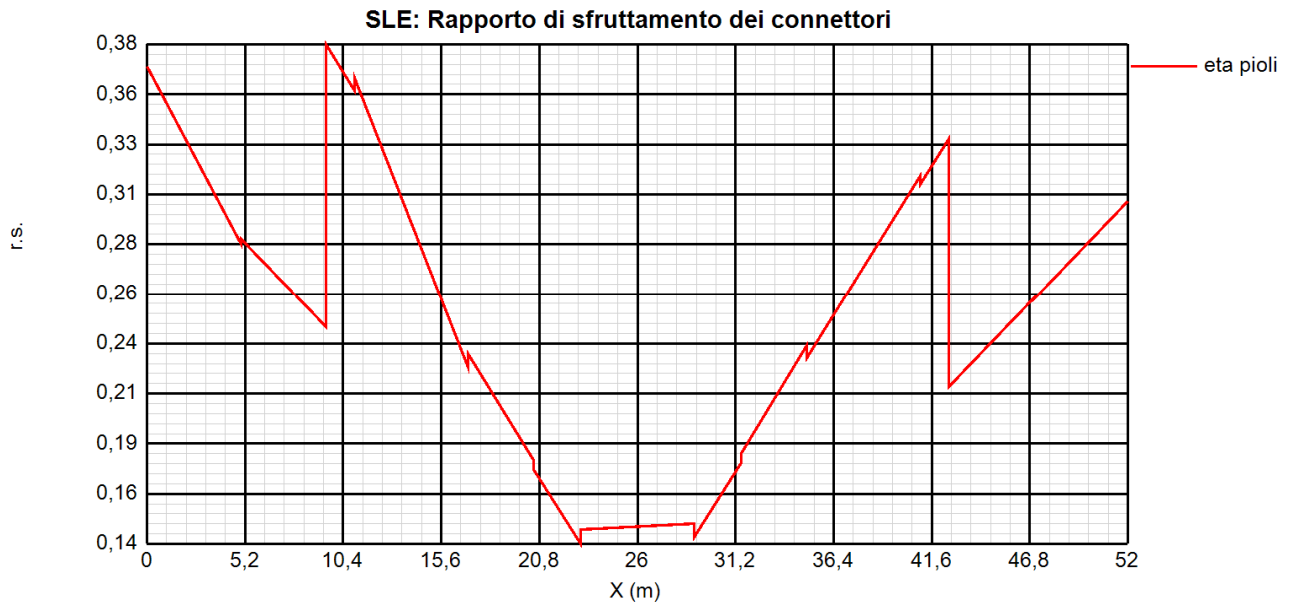
Il calcolo dello scorrimento nelle varie sezioni di verifica ed il confronto con la piolatura di progetto viene effettuato in automatico dal programma PontiEC4 nell'ambito delle condizioni considerate ($M_{max/min}$ e $V_{max/min}$).

Le verifiche tengono anche conto, secondo i criteri di normativa, del cumulo delle azioni da ritiro sulle zone di estremità (coda trave).

I diagrammi seguenti riportano, oltre alla copertura S.L.U. del flusso di taglio acciaio calcestruzzo,

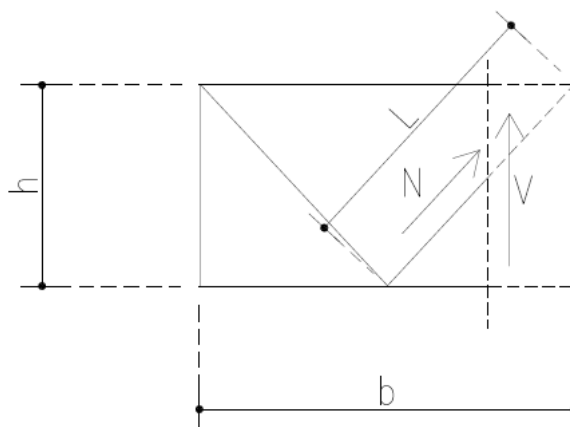
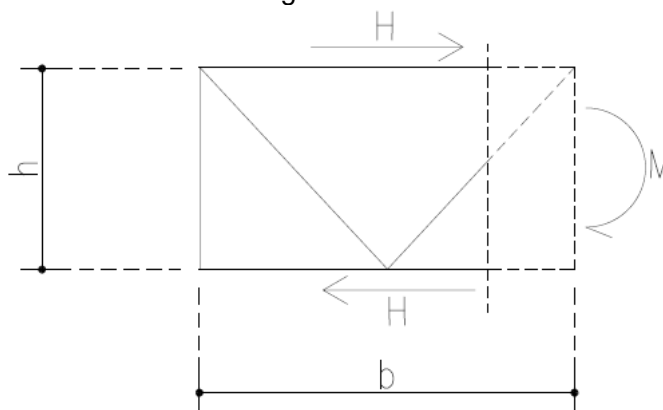
l'andamento del rapporto di sfruttamento dei connettori allo S.L.U., S.L.E. e S.L.F.. I coefficienti di sicurezza sono valutati nei confronti della rottura del piolo, della rottura della piattabanda e della rottura combinata.





12.5 Verifica diaframmi

Il momento flettente che sollecita il traverso viene scomposto in una coppia di forze agenti nelle briglie, mentre il taglio viene assorbito dai diagonaloni.



$$H = M/h$$

$$N = V \cdot L/h$$

dove:

h = altezza del cassone

L = lunghezza diagonaloni

Nel diaframma di campata le sollecitazioni flettenti e di taglio più severe, associati alle condizioni di carico elementari, sono riportati di seguito.

M [kNm]						
p.p	Soletta	Perm. non strutturali	Ritiro	Traffico distribuito	Traffico tandem	Termica
0	0	2	0	25	13	0
V [kN]						
p.p	Soletta	Perm. non strutturali	Ritiro	Traffico distribuito	Traffico tandem	Termica
3	0	1	0	12	6	0

Sovrapponendo l'effetto dovuto al carico da vento, le azione assiali SLU nelle briglie e nei diagonaloni sono riportate in tabella.

h_{trav} [mm]	2700	Altezza trave metallica
L [mm]	3000	Lunghezza diagonale
B_{inf} [mm]	4000	Larghezza inferiore cassone
i_{diab} [mm]	6000	Interasse diaframma
h [mm]	2150	Altezza di calcolo cassone
f_x [kN/m]	13,63	Forza orizzontale vento
h_{tot} [mm]	6050	Altezza investita dal vento a ponte carico
M_{SLU} [kNm]	54,3	Momento flettente allo SLU
V_{SLU} [kN]	29,85	Taglio allo SLU
sen θ	0,72	(θ angolo tra diagonale e briglia)
N_{brig_SLU} [kN]	129	Azione assiale allo SLU nelle briglie
N_{diag_SLU} [kN]	119	Azione assiale allo SLU nel diagonale

Considerando un profilo costituito da n.2 angolari L100x10, la resistenza a trazione della singola briglia risulta:

$$N_{T,Rd} = 3830 \text{ mm}^2 * 355/1.05 = 1295 \text{ kN}$$

Assumendo, a favore di sicurezza, una luce di libera inflessione della briglia superiore (corrente che risulta compresso) pari alla sua lunghezza teorica, la resistenza a compressione risulta pari a 326 kN.

File Tipo Profilo ?

L Uguali Doppi Accosta lato corto L Disuguali

Ordina per i_y i_x g

Acciaio S355 (Fe510) f_y (N/mm²) 355 f_u 510

Lunghezze di libera inflessione [m]
 l_{0y} 4 l_{0z} 4 l_{0v} 0

Aggiorna Tabella

	designation	g (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r1 (mm)	r2 (mm)
▶	L 100 x 100 x 10	15,0	100	100	10,00	12,00	6,00
	L 120 x 120 x 9	16,5	120	120	9,00	13,00	6,50
	L 110 x 110 x 10	16,6	110	110	10,00	13,00	6,50
	L 90 x 90 x 13	17,1	90	90	13,00	11,00	5,50
	L 100 x 100 x 12	17,8	100	100	12,00	12,00	6,00
	L 120 x 120 x 10	18,2	120	120	10,00	13,00	6,50

Plotta

2 L 100 x 100 x 10 $N_{by,Rd}$ [kN] 326,2 $N_{bv,Rd}$ [kN] 1.295

$N_{bz,Rd}$ [kN] 524,2 ?

Classe Sezione
 Compressione 4 ?

g (Kg/m): 30

h (mm): 100 A (cm²): 38,3

b (mm): 100 I_y (cm⁴): 353,4 W_z (cm³): 65,81 I_v (cm⁴): 73,01

t (mm): 10 W_y (cm³): 49,23 i_z (cm): 4,145 i_v (cm): 1,952

r1 (mm): 12 i_y (cm): 3,037 I_u (cm⁴): 280,3

r2 (mm): 6 I_z (cm⁴): 658,1 i_u (cm): 3,826

Le briglie risultano pertanto verificate.

Considerando un profilo costituito da n.2 angolari L100x10, la resistenza a trazione del singolo diagonale risulta:

$$N_{T,Rd} = 3830 \text{ mm}^2 \cdot 355 / 1.05 = 1295 \text{ kN}$$

Assumendo, a favore di sicurezza, una luce di libera inflessione del diagonale pari alla sua lunghezza teorica, la resistenza a compressione risulta pari a 522 kN.

File Tipo Profilo ?

L Uguali Doppi Accosta lato corto L Disuguali

Ordina per iy ly g

Acciaio S355 (Fe510) fy (N/mm2) 355 fu 510

Lunghezze di libera inflessione [m]
 I_{0y} 2,94 I_{0z} 2,94 I_{0v} 0

d (mm) 0 ?

Aggiorna Tabella

	designation	g (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r1 (mm)	r2 (mm)
▶	L 100 x 100 x 10	15,0	100	100	10,00	12,00	6,00
	L 120 x 120 x 9	16,5	120	120	9,00	13,00	6,50
	L 110 x 110 x 10	16,6	110	110	10,00	13,00	6,50
	L 90 x 90 x 13	17,1	90	90	13,00	11,00	5,50
	L 100 x 100 x 12	17,8	100	100	12,00	12,00	6,00
	L 120 x 120 x 10	18,2	120	120	10,00	13,00	6,50
	L 100 x 100 x 15	19,5	100	100	15,00	11,00	6,50

Plotta

2 L 100 x 100 x 10 $N_{by,Rd}$ [kN] 521,9 $N_{bz,Rd}$ [kN] 1.295

$N_{bz,Rd}$ [kN] 754,5 ?

Classe Sezione Compressione 4 ?

g (Kg/m): 30
 h (mm): 100
 b (mm): 100
 t (mm): 10
 r1 (mm): 12
 r2 (mm): 6

A (cm2): 38,3
 I_y (cm4): 353,4
 I_z (cm4): 658,1
 I_{uy} (cm): 3,037
 I_{uz} (cm): 3,826

Wz (cm3): 65,81
 I_z (cm): 4,145
 I_{uz} (cm4): 280,3
 I_{uz} (cm): 1,952

I_v (cm4): 73,01
 I_v (cm): 1,952

I diagonali risultano pertanto verificati.

Nel diaframma di appoggio le sollecitazioni flettenti e di taglio più severe, associati alle condizioni di carico elementari, sono riportati di seguito.

M [kNm]						
p.p	Soletta	Perm. non strutturali	Ritiro	Traffico distribuito	Traffico tandem	Termica
3	7	4	0	113	52	0
V [kN]						
p.p	Soletta	Perm. non strutturali	Ritiro	Traffico distribuito	Traffico tandem	Termica
4	0	1	0	39	18	0

Sovrapponendo l'effetto dovuto al carico da vento, le azioni assiali SLU nelle briglie e nei diagonali sono riportate in tabella.

h_{trav} [mm]	2700	Altezza trave metallica	
L [mm]	3000	Lunghezza diagonale	
B_{inf} [mm]	4000	Larghezza inferiore cassone	
i_{diaf} [mm]	6000	Interasse diaframma	
h [mm]	2150	Altezza di calcolo cassone	
f_x [kN/m]	13,63	Forza orizzontale vento	
h_{tot} [mm]	6050	Altezza investita dal vento a ponte carico	
M_{SLU} [kNm]	242,25	Momento flettente allo SLU	
V_{SLU} [kN]	83,85	Taglio allo SLU	
$sen\vartheta$	0,72	(ϑ angolo tra diagonale e briglia)	
N_{brig_SLU} [kN]	216	Azione assiale allo SLU nelle briglie	
N_{diag_SLU} [kN]	195	Azione assiale allo SLU nel diagonale	

Considerando un profilo costituito da n.2 angolari L140x15, la resistenza a trazione della singola briglia risulta:

$$N_{T,Rd} = 8000 \text{ mm}^2 * 355/1.05 = 2705 \text{ kN}$$

Assumendo, a favore di sicurezza, una luce di libera inflessione della briglia inferiore (corrente che risulta compresso) pari alla sua lunghezza teorica, la resistenza a compressione risulta pari a 1628 kN.

File Tipo Profilo ?

L Uguali L Disuguali

Doppi Accosta lato corto

d (mm) 0 ?

Ordina per
 iy
 ly
 g

Acciaio S355 (Fe510) ty (N/mm2) 355 fu 510

Lunghezze di libera inflessione [m]
 I_{Oy} 4 I_{Oz} 4 I_{Ov} 0

Aggiorna Tabella

	designation	g (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r1 (mm)	r2 (mm)
	L 120 x 120 x 15	26,6	120	120	15,00	13,00	6,50
	L 130 x 130 x 14	27,2	130	130	14,00	14,00	7,00
	L 150 x 150 x 12	27,3	150	150	12,00	16,00	8,00
	L 140 x 140 x 13	27,4	140	140	13,00	15,00	7,50
	L 130 x 130 x 16	30,9	130	130	16,00	14,00	7,00
▶	L 140 x 140 x 15	31,4	140	140	15,00	15,00	7,50
	L 120 x 120 x 10	21,5	120	120	10,00	12,00	6,50

Plotta

2 L 140 x 140 x 15

N_{by,Rd} [kN] 2.099 N_{bv,Rd} [kN] 2.705

N_{bz,Rd} [kN] 1.628 ?

Classe Sezione
 Compressione 3 ?

g (Kg/m): 62,8

h (mm): 140 A (cm2): 80

b (mm): 140 I_y (cm4): 1.447 W_z (cm3): 194,9 I_v (cm4): 298,6

t (mm): 15 W_y (cm3): 144,7 I_z (cm): 5,840 I_v (cm): 2,733

r1 (mm): 15 I_y (cm): 4,253 I_u (cm4): 1.148

r2 (mm): 7,5 I_z (cm4): 2.729 I_u (cm): 5,358

Le briglie risultano pertanto verificate.

Considerando un profilo costituito da n.2 angolari L140x15, la resistenza a trazione del singolo diagonale risulta:

$$N_{T,Rd} = 8000 \text{ mm}^2 * 355 / 1.05 = 2705 \text{ kN}$$

Assumendo, a favore di sicurezza, una luce di libera inflessione del diagonale pari alla sua lunghezza teorica, la resistenza a compressione risulta pari a 1614 kN.

File Tipo Profilo ?

L Uguali L Disuguali

Doppi Accosta lato corto

d (mm) ?

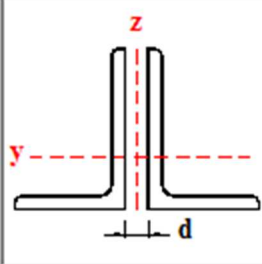
Ordina per
 iy
 ly
 g

Acciaio fy (N/mm2) fu

Lunghezze di libera inflessione [m]
 l_{0y} l_{0z} l_{0v}

Aggiorna Tabella

	designation	g (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r1 (mm)	r2 (mm)
	L 120 x 120 x 15	26,6	120	120	15,00	13,00	6,50
	L 130 x 130 x 14	27,2	130	130	14,00	14,00	7,00
	L 150 x 150 x 12	27,3	150	150	12,00	16,00	8,00
	L 140 x 140 x 13	27,4	140	140	13,00	15,00	7,50
	L 130 x 130 x 16	30,9	130	130	16,00	14,00	7,00
▶	L 140 x 140 x 15	31,4	140	140	15,00	15,00	7,50
◀	L 120 x 120 x 18	31,5	120	120	18,00	12,00	6,50



Plotta

2 L 140 x 140 x 15 $N_{by,Rd}$ [kN] $N_{bv,Rd}$ [kN]

$N_{bz,Rd}$ [kN] ?

Classe Sezione
 Compressione ?

g (Kg/m):

h (mm): A (cm2):

b (mm): I_y (cm4): W_z (cm3): I_v (cm4):

t (mm): W_y (cm3): i_z (cm): i_v (cm):

r1 (mm): i_y (cm): I_u (cm4):

r2 (mm): i_z (cm4): i_u (cm):

I diagonali risultano pertanto verificati.

13 VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

Riguardo la deformabilità si provvede a controllare che le frecce per i carichi mobili, terza fase, siano contenute entro i limiti di $L/500$, limite in uso nelle progettazioni di ponti sul suolo nazionale ed in accordo alle indicazioni del D.M. 80, tutt'ora considerate come valide ai fini della valutazione delle deformazioni compatibili con l'esercizio.

Si riporta di seguito l'involuppo degli spostamenti verticali dovuti ai carichi caratteristici da traffico, desunti dal modello FEM Fase 3 per la trave maggiormente inflessa.

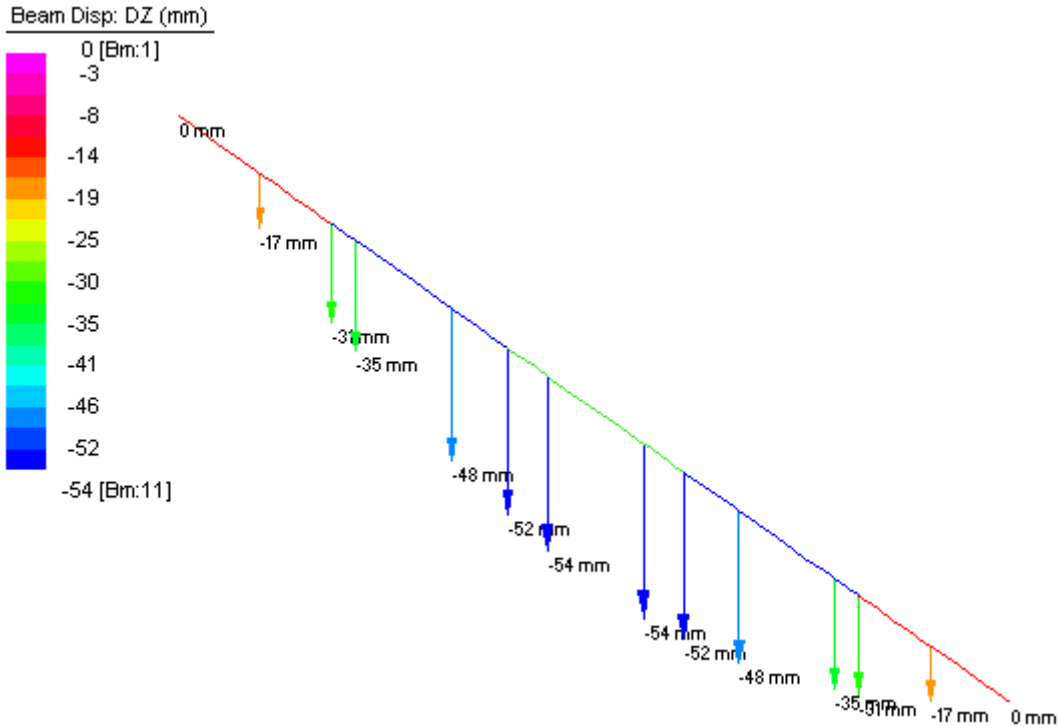


Figura 43 – Modello FEM Fase 3 – Env. min spostamenti verticali da carichi mobili

La limitazione sulla freccia massima risulta soddisfatta per tutte le campate:

- campata 1: $\delta_{max} = 54 \text{ mm} < 104 \text{ mm}$ ($L_1/500 = 52000 \text{ mm} / 500$)

14 CONTROMONTA DI MONTAGGIO

La contromonta da applicare ad ogni concio di trave in fase di montaggio, viene valutata sulla base delle deformate elastiche ricavate dal modello di Fase 1 (peso proprio delle carpenterie metalliche e della soletta in c.a.) e dal modello di Fase 2 (permanenti non strutturali).

Nella figure seguenti sono diagrammati gli spostamenti verticali nei nodi d'estremità di ciascun concio in Fase 1 e Fase 2.

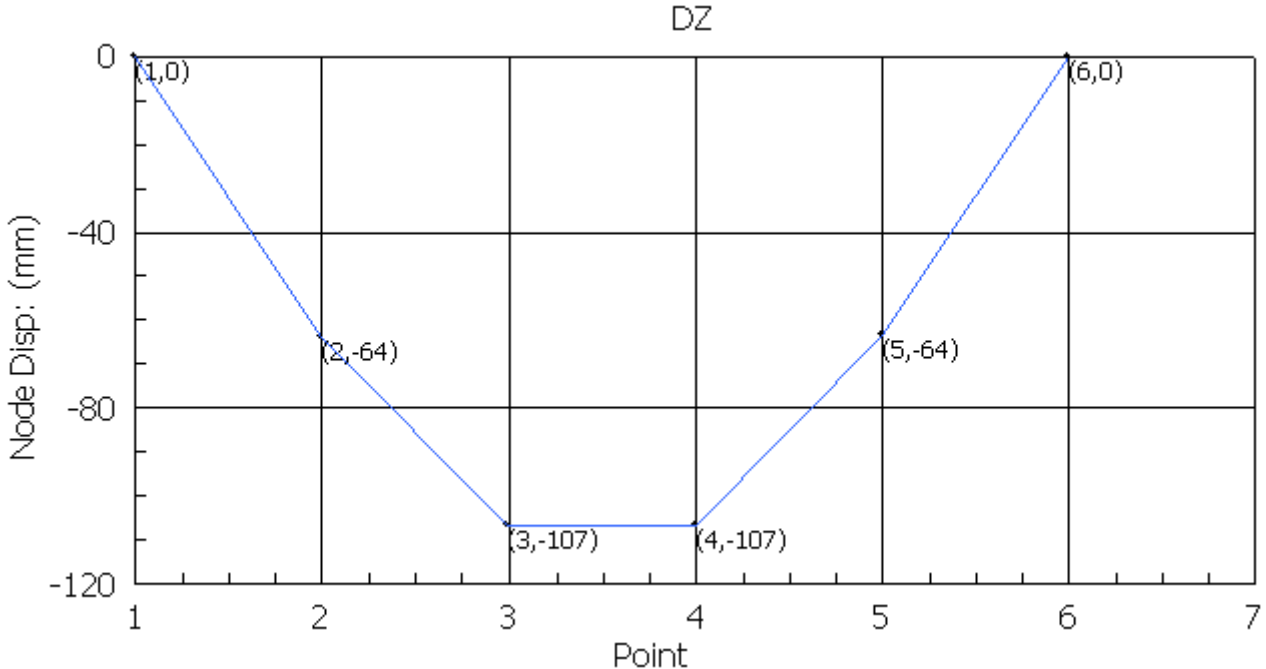


Figura 44 – Modello FEM Fase 1 – Spostamenti verticali nodali

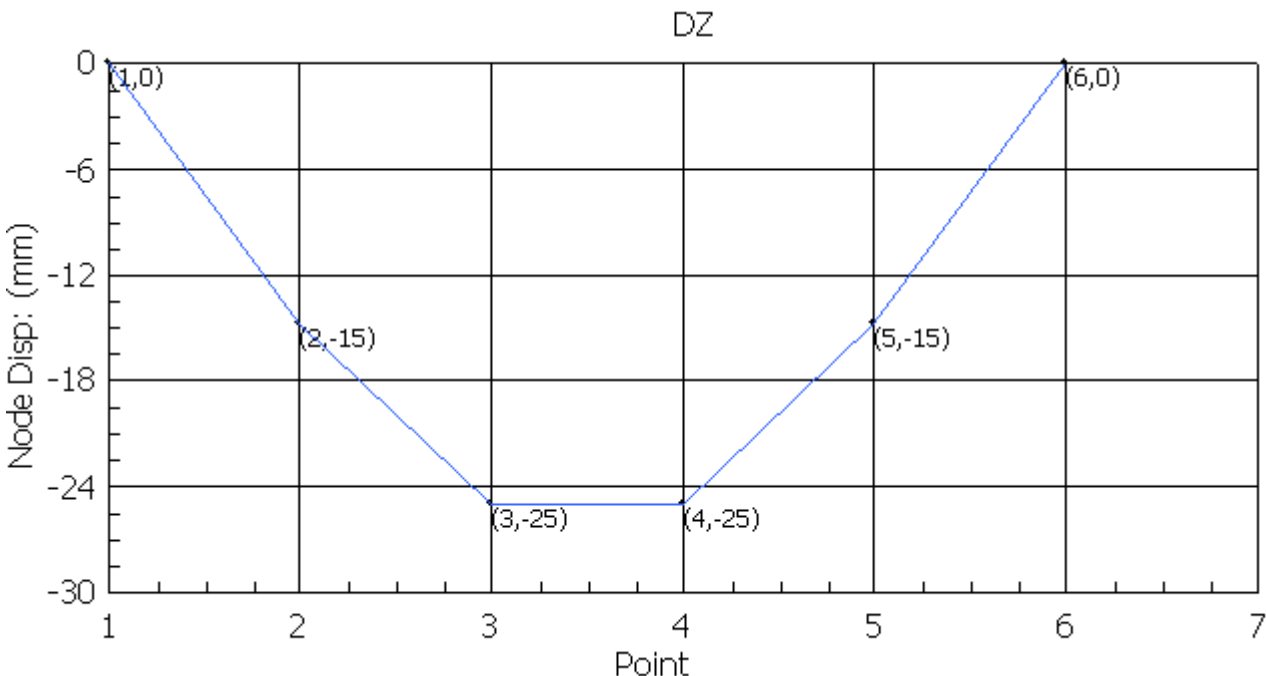


Figura 45 – Modello FEM Fase 2 – Spostamenti verticali nodali

I suddetti spostamenti nodali sono sommati nella tabella seguente.

	DZ [mm]									
	C1		C2		C3		C2		C1	
Fase 1	0	64	64	107	107	107	107	64	64	0
Fase 2	0	15	15	25	25	25	25	15	15	0
Tot.	0	79	79	132	132	132	132	79	79	0

Le contromonte da applicare alle estremità dei conchi (riportate di seguito), sono quindi determinate in modo da annullare gli spostamenti totali così ottenuti.

Contromonta [mm]					
C1	C2	C3	C2	C1	
0	80	135	135	80	0

15 REAZIONI NEGLI APPOGGI

Si riportano di seguito le reazioni ottenute dai modelli in corrispondenza degli appoggi.

	Spalla 1					
	UL			M		
	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]
Permanenti						
Fase 1 - Strutturali	937	0	-1	934	0	0
Fase 2 - Permanenti portati	441	0	0	439	0	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Attrito appoggi MAX	0	60	0	0	80	0
Attrito appoggi MIN	0	-60	0	0	-80	0
Effetti ambientali						
Variazione termica MAX	0	0	0	0	0	0
Variazione termica MIN	0	0	0	0	0	0
Vento da esterno curva	-366	0	249	545	0	0
Vento da interno curva	559	0	-249	-340	0	0
Accidentali da traffico						
Max squilibrio Trint	435	0	-4	995	0	0
Max carico Trint	607	0	-3	1307	0	0
Max squilibrio Trest	0	0	0	0	0	0
Max carico Trest	0	0	0	0	0	0
Frenamento/avviamento MAX	0	0	0	0	0	0
Frenamento/avviamento MIN	0	0	0	0	0	0
Sisma						
Sisma X	445	0	359	345	0	0
Sisma Y	697	0	1045	670	0	0
Sisma Z	90	0	29	84	0	0
Spalla R1						
	UL			M		
	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]
1,35*PERMS+1,50*PERMNS+1,20*RIT	1926	0	-1	1919	0	0
1,5*ATTRITO MAX	0	89	0	0	121	0
1,5*ATTRITO MIN	0	-89	0	0	-121	0
1,50*TERM MAX+1,5*VENTO MAX	839	0	374	818	0	0
1,50*TERM MIN+1,5*VENTO MIN	-549	0	-374	-510	0	0
1,35*TRAFFICO MAX	819	0	0	1764	0	0
1,35*TRAFFICO MIN	0	0	-5	0	0	0
1,35*FRENATURA MAX	0	0	0	0	0	0
1,35*FRENATURA MIN	0	0	0	0	0	0
TOTALE STATICO MAX	3584	89	372	4501	121	0
TOTALE STATICO MIN	1377	-89	-380	1409	-121	0
SISX+0,3*SISY+0,3*SISZ MAX	681	0	681	571	0	0
SISX+0,3*SISY+0,3*SISZ MIN	-681	0	-681	-571	0	0
0,3*SISX+SISY+0,3*SISZ MAX	858	0	1161	799	0	0
0,3*SISX+SISY+0,3*SISZ MIN	-858	0	-1161	-799	0	0
0,3*SISX+0,3*SISY+SISZ MAX	433	0	450	389	0	0
0,3*SISX+0,3*SISY+SISZ MIN	-433	0	-450	-389	0	0
TOTALE DINAMICO MAX	2236	60	1160	2172	80	0
TOTALE DINAMICO MIN	521	-60	-1162	574	-80	0

	Spalla 2					
	F			UT		
	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]
Permanenti						
Fase 1 - Strutturali	934	10	1	937	-1	0
Fase 2 - Permanenti portati	438	3	0	441	-3	0
Ritiro	0	0	0	0	0	0
Attrito appoggi MAX	0	54	0	0	72	0
Attrito appoggi MIN	0	-54	0	0	-72	0
Effetti ambientali						
Variazione termica MAX	0	0	0	0	0	0
Variazione termica MIN	0	0	0	0	0	0
Vento da esterno curva	-344	-51	500	563	-131	0
Vento da interno curva	548	-83	-500	-369	264	0
Accidentali da traffico						
Max squilibrio Trint	241	36	3	703	-37	0
Max carico Trint	413	52	4	1016	-53	0
Max squilibrio Trest	0	0	0	0	0	0
Max carico Trest	0	0	0	0	0	0
Frenamento/avviamento MAX	0	450	0	0	450	0
Frenamento/avviamento MIN	0	-450	0	0	-450	0
Sisma						
Sisma X	299	640	682	269	805	0
Sisma Y	656	70	1000	698	388	0
Sisma Z	88	74	51	83	83	0
Pila R2						
	F			UT		
	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]	V [kN]	Long. [kN]	Trasv. [kN]
1,35*PERMS+1,50*PERMNS+1,20*RIT	1918	18	1	1926	-6	0
1,5*ATTRITO MAX	0	80	0	0	108	0
1,5*ATTRITO MIN	0	-80	0	0	-108	0
1,50*TERM MAX+1,5*VENTO MAX	822	-77	750	845	396	0
1,50*TERM MIN+1,5*VENTO MIN	-516	-125	-750	-554	-197	0
1,35*TRAFFICO MAX	558	70	5	1372	0	0
1,35*TRAFFICO MIN	0	0	0	0	-72	0
1,35*FRENATURA MAX	0	608	0	0	608	0
1,35*FRENATURA MIN	0	-608	0	0	-608	0
TOTALE STATICO MAX	3297	700	757	4143	1105	0
TOTALE STATICO MIN	1402	-794	-749	1373	-989	0
SISX+0,3*SISY+0,3*SISZ MAX	522	683	997	503	946	0
SISX+0,3*SISY+0,3*SISZ MIN	-522	-683	-997	-503	-946	0
0,3*SISX+SISY+0,3*SISZ MAX	772	284	1220	804	654	0
0,3*SISX+SISY+0,3*SISZ MIN	-772	-284	-1220	-804	-654	0
0,3*SISX+0,3*SISY+SISZ MAX	375	287	556	373	441	0
0,3*SISX+0,3*SISY+SISZ MIN	-375	-287	-556	-373	-441	0
TOTALE DINAMICO MAX	2144	750	1221	2182	1014	0
TOTALE DINAMICO MIN	600	-724	-1219	574	-1022	0

16 ANALISI E VERIFICHE SOLETTA

La soletta d'impalcato viene realizzata mediante getto in opera su predalles prefabbricate in cls armato. Le predalles hanno uno spessore di 5 cm, sono armate con idonei tralicci con altezza pari a 16.5 cm e contengono l'armatura integrativa inferiore. L'intero impalcato viene coperto trasversalmente appoggiando le predalles isostaticamente sulle travi principali.

16.1 Schema statico

Si considera lo schema statico di trave continua, costituita dall'intero spessore di soletta (25 cm predalle comprese); i carichi in gioco sono il peso proprio, i permanenti non strutturali, i carichi da traffico, il vento e l'urto di veicolo in svio.

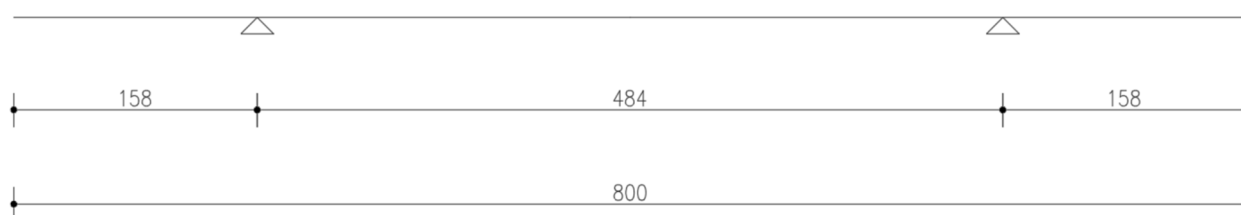


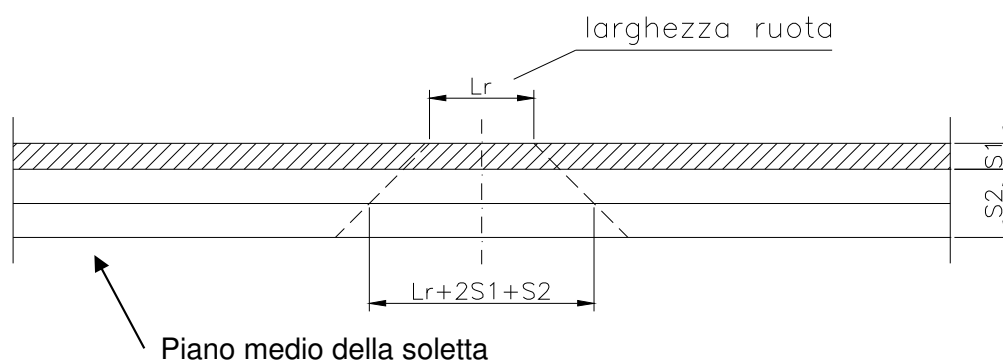
Figura 46 – Schema di calcolo trave continua (cm)

16.1.1 Schemi di carico

Coerentemente con quanto indicato al par. 5.1.3.3.3 del DM 17/01/2018 le azioni variabili del traffico sono definite dagli schemi di carico da normativa, già indicati al capitolo dell'analisi dei carichi.

16.1.2 Larghezze collaboranti

Si considera una diffusione dell'impronta a 45° attraverso la pavimentazione e fino alla mezzeria della soletta.



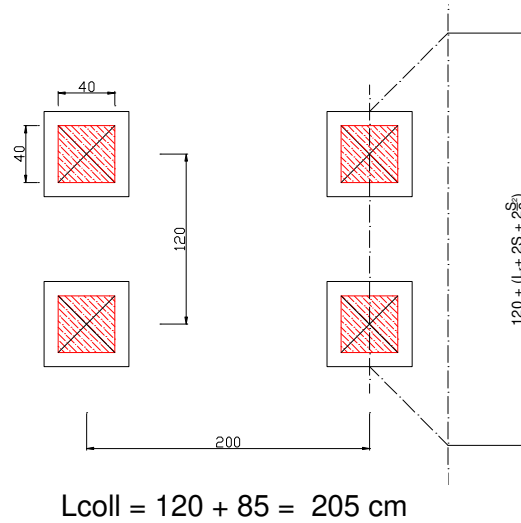
Schema di carico 1

- L_r = larghezza ruota = 40 cm
- S₁ = spessore del manto di usura = 10 cm
- S₂ = spessore minimo getto di cls = 25 cm

Sezione corrente: $D_{SOL} = L_r + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot \frac{s_2}{2} = 40 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot \frac{25}{2} = 85 \text{ cm}$

Le impronte di carico si diffondono in direzione longitudinale in quanto la soletta di impalcato si comporta come una lastra su piÙ appoggi.

Schema di carico



16.1.3 Effetto dei carichi permanenti

Nei diagrammi seguenti si presentano gli effetti dei carichi permanenti.

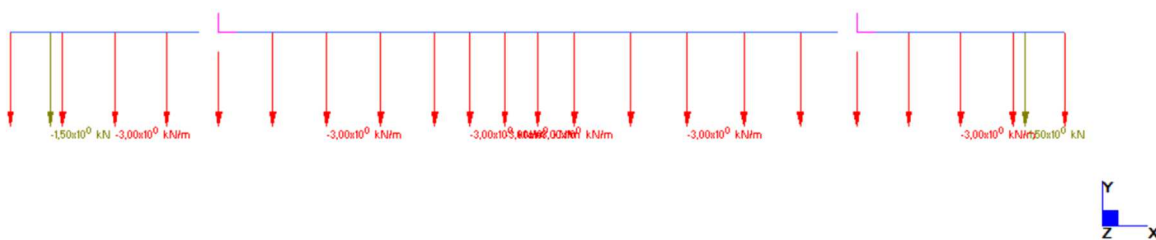


Figura 47 – Permanenti - Schema di carico

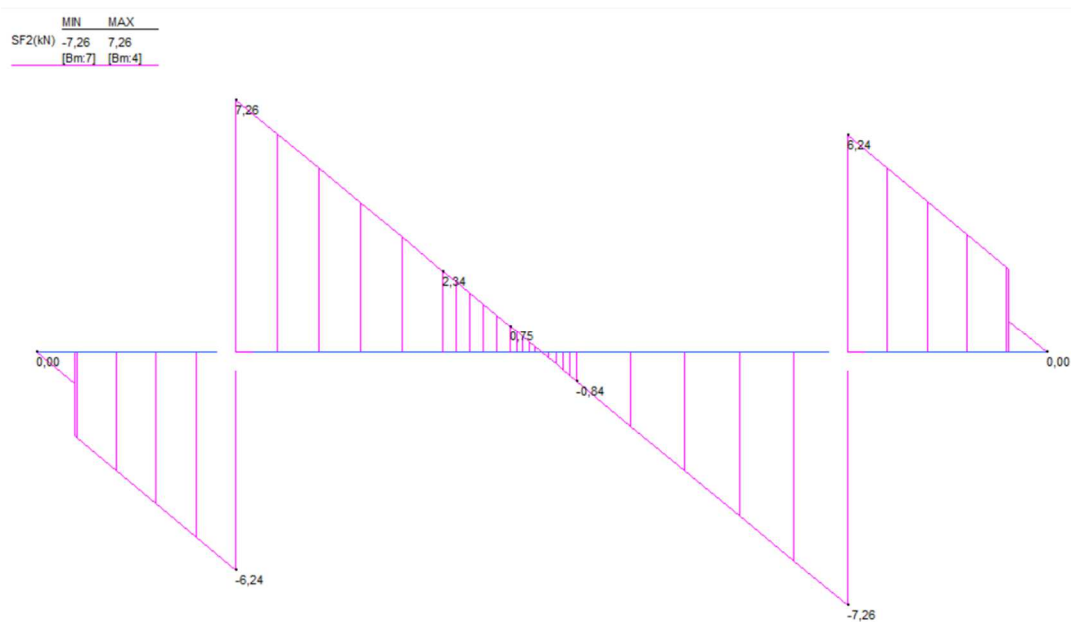


Figura 48 – Permanenti - Sollecitazioni di taglio (kN)

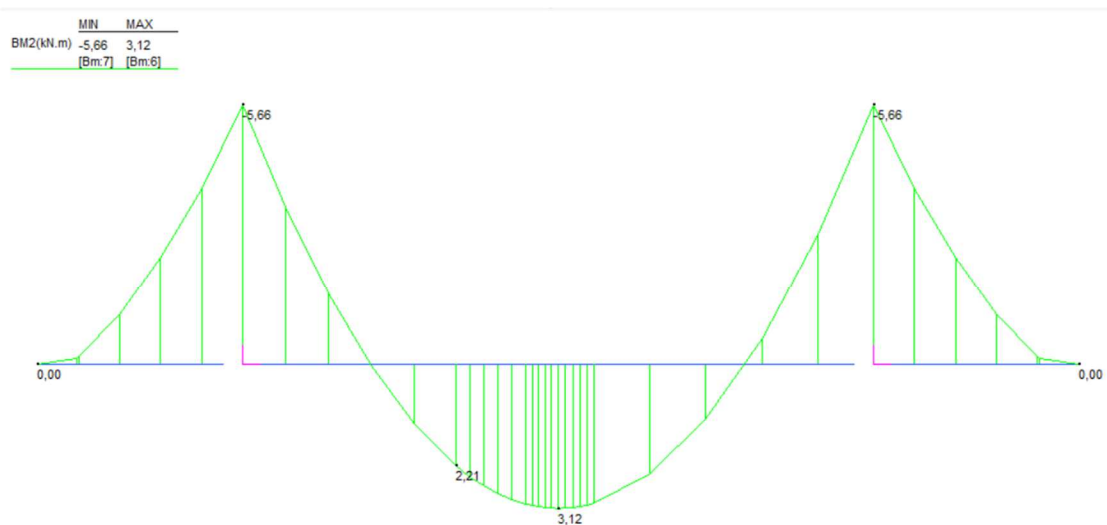
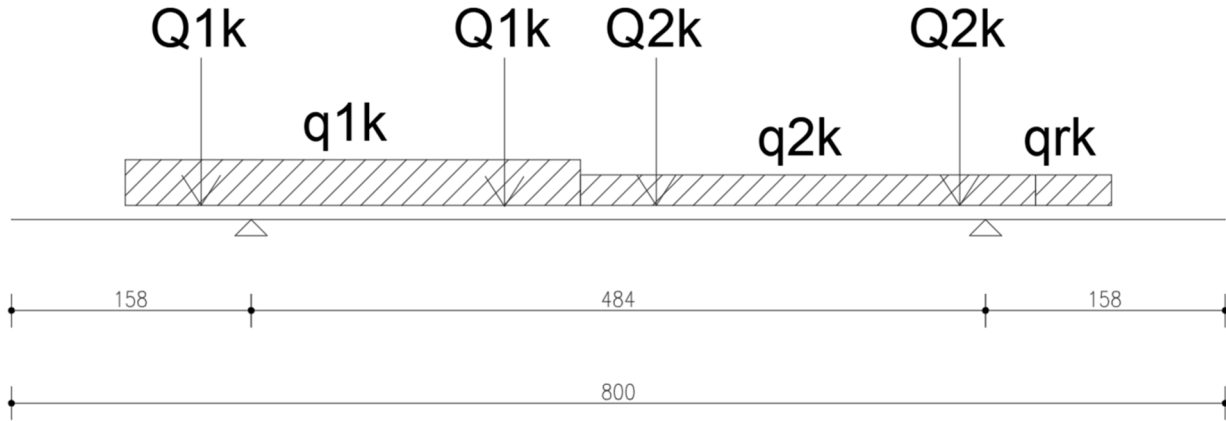


Figura 49 – Permanenti - Sollecitazioni di momento flettente (kNm)

16.1.4 Effetti dei carico da traffico

Di seguito si riporta lo schema di carico e i relativi diagrammi. I carichi tandem Q_{ik} sono stati applicati come carichi distribuiti dividendoli per la superficie di diffusione pari a $L_{coll} * L_{coll}$. Si considera una sezione di larghezza unitaria.

Schema di carico



$$q_1 = Q_{1k} / (L_{coll} * L_{coll}) = 300 / (2.05 * 2.05) = 71.39 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = Q_{2k} / (L_{coll} * L_{coll}) = 200 / (2.05 * 2.05) = 47.59 \text{ kN/m}$$

$$L_{coll} = 2.05 \text{ m}$$

$$Q_{1k} = 9.00 \text{ kN/m}$$

$$Q_{2k} = 2.5 \text{ kN/m}$$

$$q_{rk} = 2.5 \text{ kN/m}$$

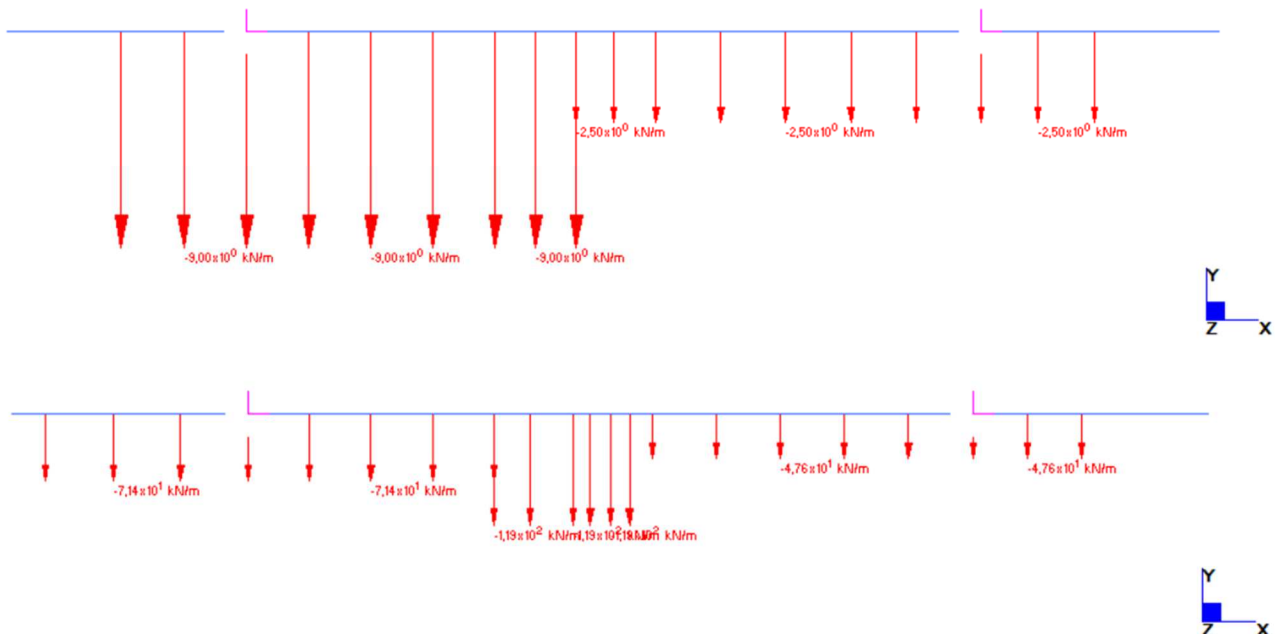


Figura 50 – Traffico - Schemi di carico (traffico distribuito + tandem)

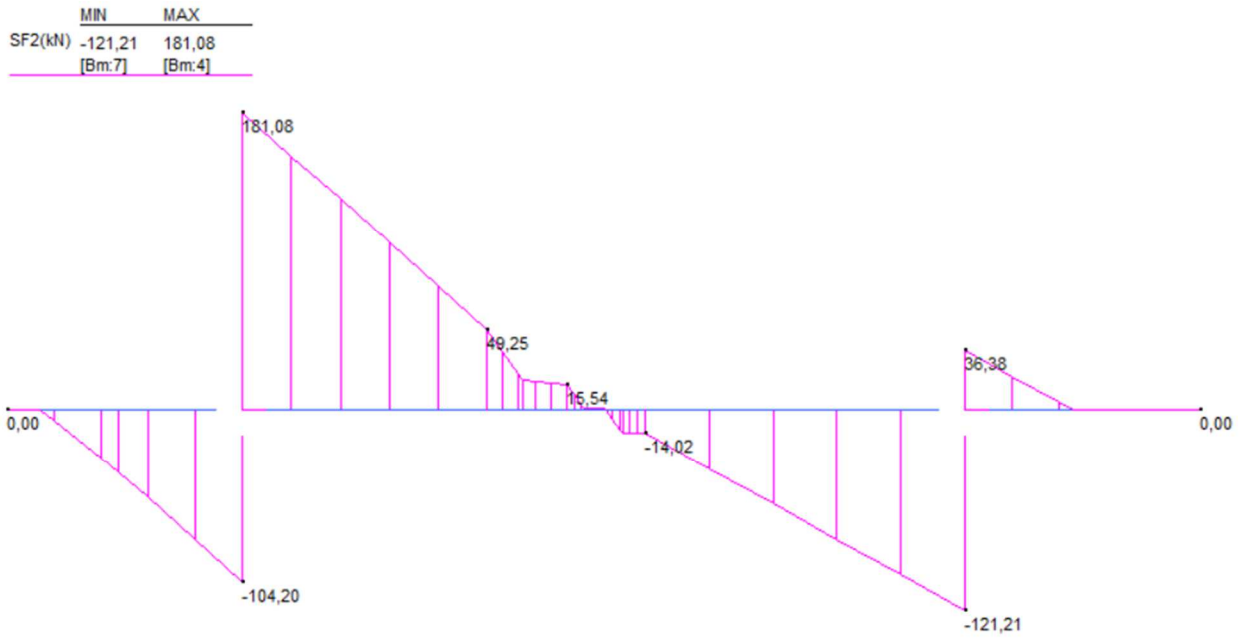


Figura 51 – Traffico - Sollecitazioni di taglio (kN)

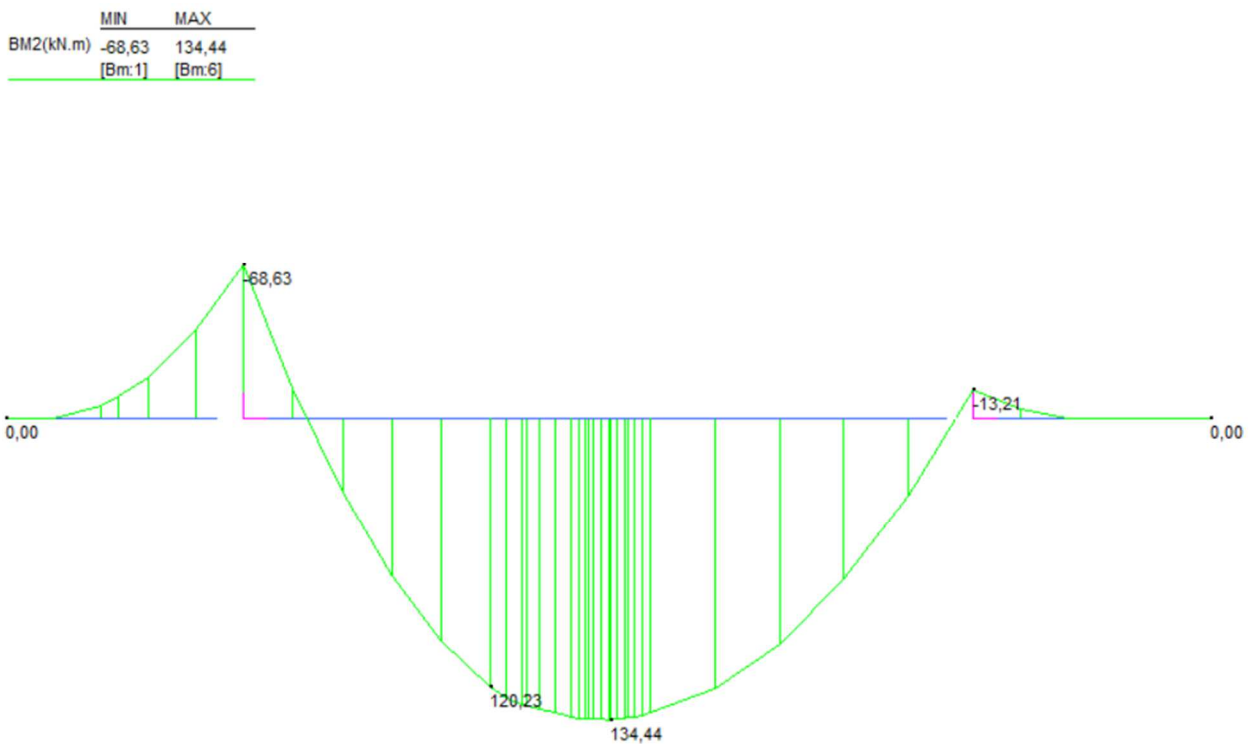


Figura 52 – Traffico - Sollecitazioni di momento flettente (kNm)

16.1.5 Vento

A favore di sicurezza, la pressione totale del vento agente sull'intera struttura vale:

$p_{\text{sopravento}} = 15 \text{ kN/m}^2$ che, svolgendo il calcolo per metro lineare, dà 15 kN/m .

Considerando a favore di sicurezza un'altezza di ponte carico ridotta, la pressione agente sulla barriera sopravvento sarà pari a:

$$q_v = 15 * h_{barr} / h_{tot, ponte carico} = 11.81 * 1.55 / 5.45 = 4.27 \text{ kN/m}$$

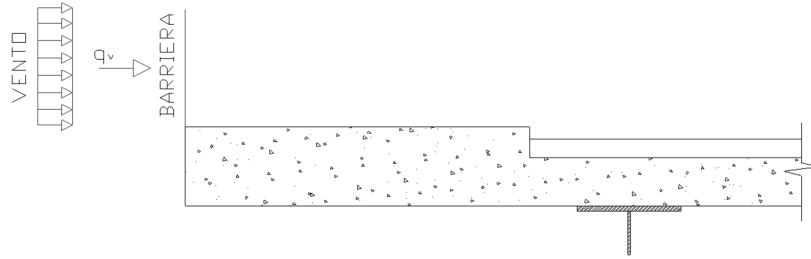


Figura 53 – Vento – Effetti locali sulla soletta

$$M_A = q_v L^2 / 2$$

Rispetto alla linea media della soletta, si ha $L = 1.55 + 0.25/2$, si ottiene $L = 1.675 \text{ m}$ e conseguentemente, $M_{max} = 5.99 \text{ kN/m}$

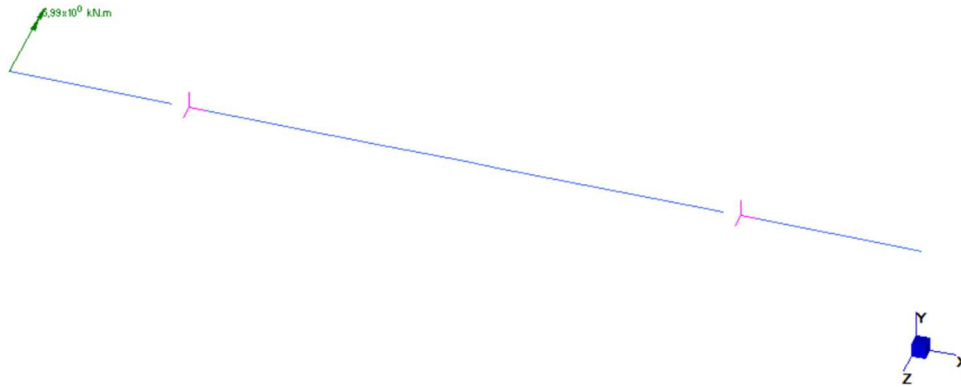


Figura 54 – Vento - Schema di carico

	MIN	MAX
SF2(kN)	-1,24	0,00
	[Bm:7]	[Bm:1]

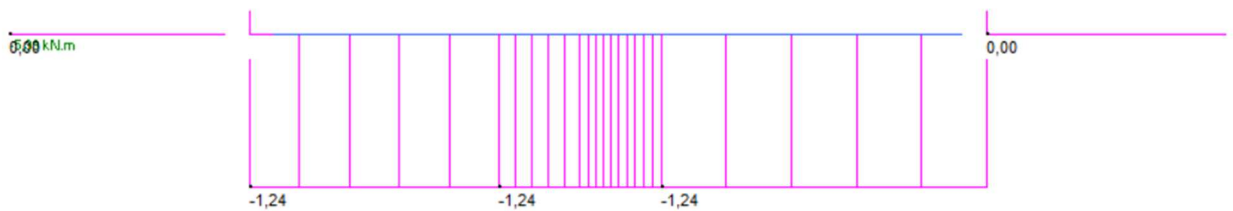


Figura 55 – Vento - Sollecitazioni di taglio (kN)

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	0,00	5,99
	[Bm:2]	[Bm:1]

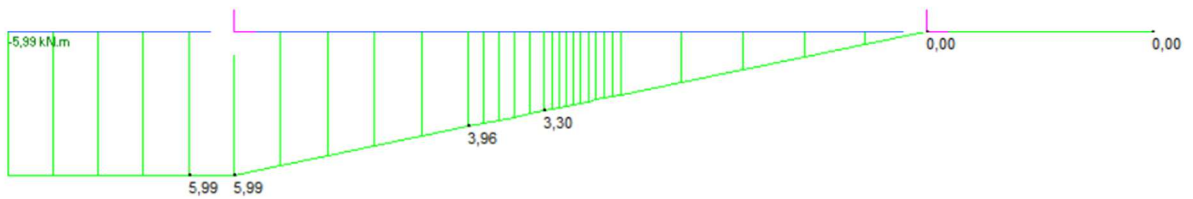


Figura 56 – Vento - Sollecitazioni di momento flettente (kNm)

16.1.6 Urto del veicolo in svio

Veicolo in svio: In accordo con i par. 5.1.3.10 e 3.6.3.3.2 del DM 2018 si considera un'azione orizzontale di 100 kN distribuita su 3 montanti ad interasse di 150 cm ed applicata a 1 m dal piano viario; il momento conseguente viene ripartito su una larghezza collaborante dovuta alla diffusione a 45° fino a metà soletta e fino all'asse travi.

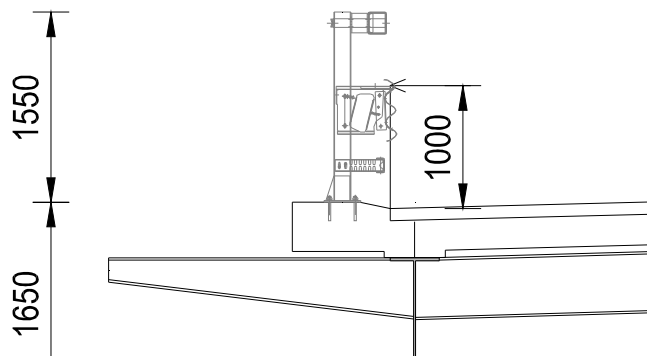
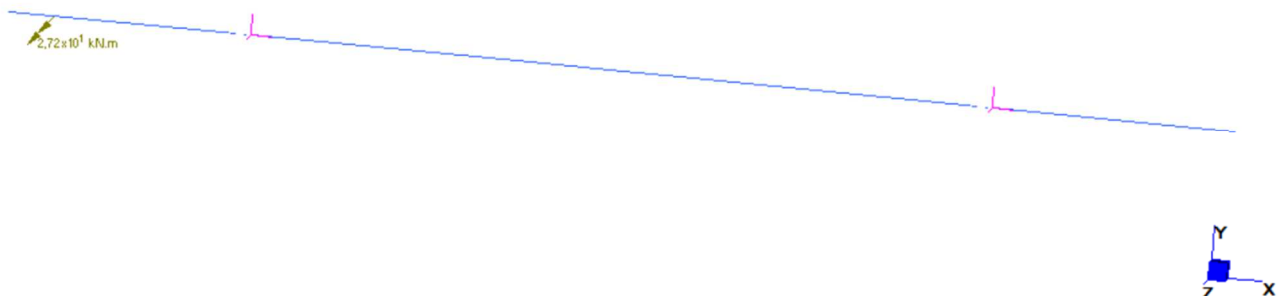


Figura 57 – Urto – Effetti locali sulla soletta

L'azione sulla soletta del veicolo in svio si schematizza come un momento flettente concentrato, applicato in corrispondenza del guard-rail e pari a:

$$M = -100 / (3 \cdot 1.5) \times (1.00 + 0.10 + 0.25/2) = -27.2 \text{ kNm}$$

I diagrammi di taglio e momento flettente sono proporzionali a quelli ricavati per il vento, come si osserva nella figura sottostante.



	MIN	MAX
SF2(kN)	0,00	5,62
	[Bm:1]	[Bm:7]

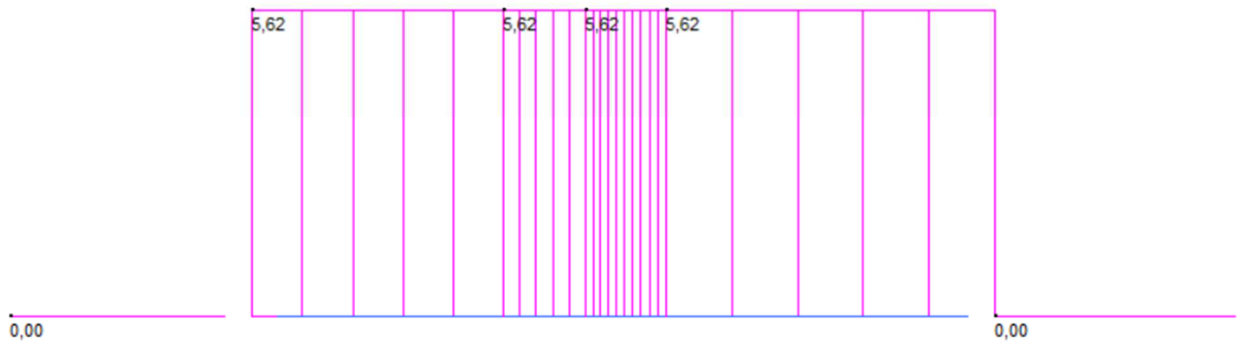


Figura 58 – Urto - Sollecitazioni di taglio (kN)

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-27,20	0,00
	[Bm:1]	[Bm:2]

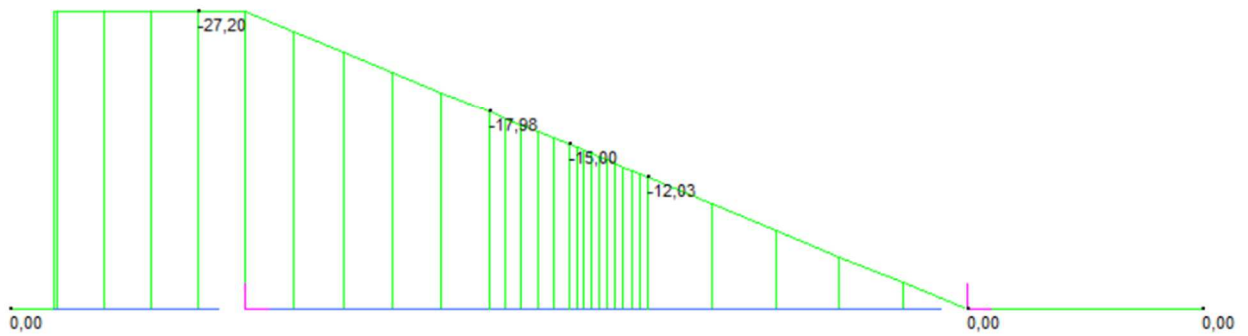


Figura 59 – Urto - Sollecitazioni di momento flettente (kNm)

16.2 Combinazioni di verifica

In accordo con i paragrafi. 2.5.3 e 5.1.3.12 del DM 17/01/2018 si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazioni quasi permanenti (SLE-QP):
 (PP + permanenti non strutturali) x 1.00
- Combinazioni frequenti (SLE-F):
 (PP + permanenti non strutturali) x 1.00 + carichi mobili distribuiti x 0.40 + carichi tandem x 0.75
- Combinazioni rare (SLE-R):
 (PP + permanenti non strutturali) x 1.00 + carichi mobili distribuiti x 0.40 + carichi tandem x 0.75 + vento x 0.60
- Combinazioni STR (SLU):
 (PP + permanenti non strutturali) x 1.50 + carichi mobili (distribuito + tandem) x 1.35 + vento x 0.90
 (PP + permanenti non strutturali) x 1.00 + urto x 1.00

16.2.1 Fattori di combinazione

Si riportano i valori di combinazione come indicati nel programma di calcolo.

CASES	1	2	3	4	5
	SLE_QP	SLE_FR	SLE_RA	SLU	ECC
1: PP	1,00x10 ⁰	1,00x10 ⁰	1,00x10 ⁰	1,50x10 ⁰	1,00x10 ⁰
2: Perm non strutturali	1,00x10 ⁰	1,00x10 ⁰	1,00x10 ⁰	1,50x10 ⁰	1,00x10 ⁰
3: Traffico distribuito	0,00x10 ⁰	4,00x10 ⁻¹	4,00x10 ⁻¹	1,35x10 ⁰	0,00x10 ⁰
4: Tandem	0,00x10 ⁰	7,50x10 ⁻¹	7,50x10 ⁻¹	1,35x10 ⁰	0,00x10 ⁰
5: Vento	0,00x10 ⁰	0,00x10 ⁰	6,00x10 ⁻¹	9,00x10 ⁻¹	0,00x10 ⁰
6: Urto	0,00x10 ⁰	0,00x10 ⁰	0,00x10 ⁰	0,00x10 ⁰	1,00x10 ⁰

Figura 60 – Combinazioni di verifica

CASES	1: Absolute Envelope Env SLU
1: PP	
2: Perm non strutturali	
3: Traffico distribuito	
4: Tandem	
5: Vento	
6: Urto	
7: SLE_QP	
8: SLE_FR	
9: SLE_RA	
10: SLU	✓
11: ECC	✓

Figura 61 – Involuppo combinazioni di carico

16.2.2 Risultati analisi

Nelle seguenti figure si riporta l'involuppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti per le combinazioni di verifica per le due sezioni di verifica.

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-13,32	13,42
	[Bm:2]	[Bm:3]

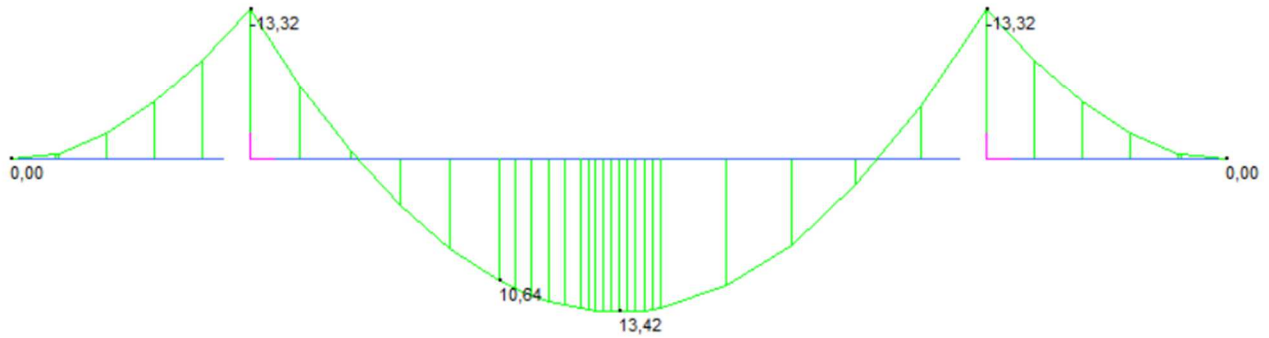


Figura 62 – Involuppo SLE QP – Momento flettente (kNm)

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-63,71	109,97
	[Bm:1]	[Bm:6]

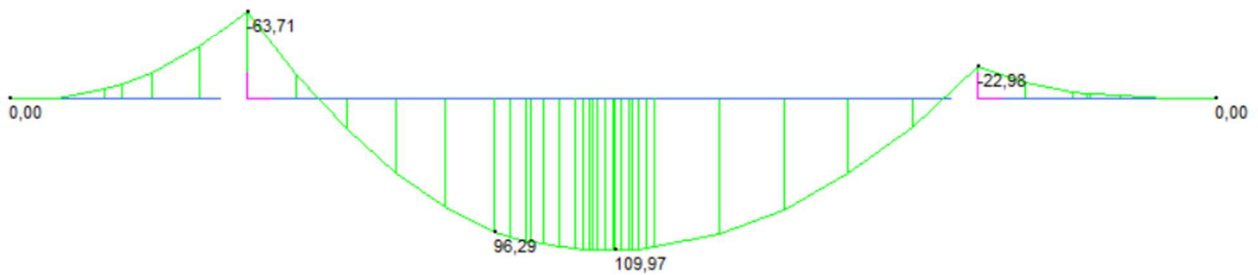


Figura 63 – Involuppo SLE FR – Momento flettente (kNm)

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-60,33	111,65
	[Bm:1]	[Bm:6]

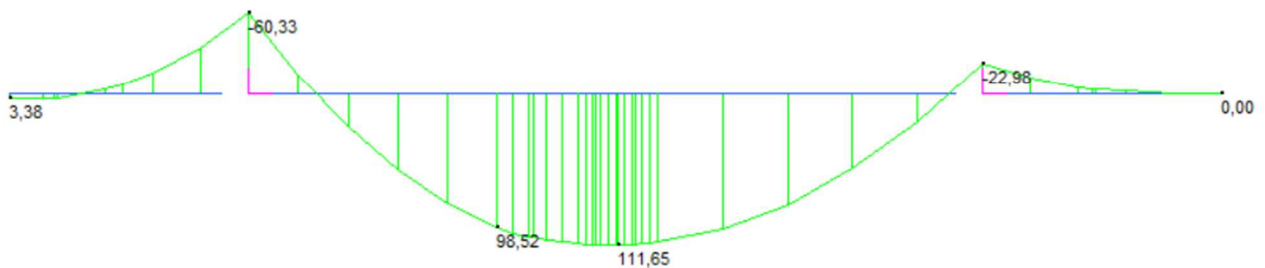


Figura 64 – Involuppo SLE RA – Momento flettente (kNm)

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-107,56	204,15
	[Bm.1]	[Bm.6]

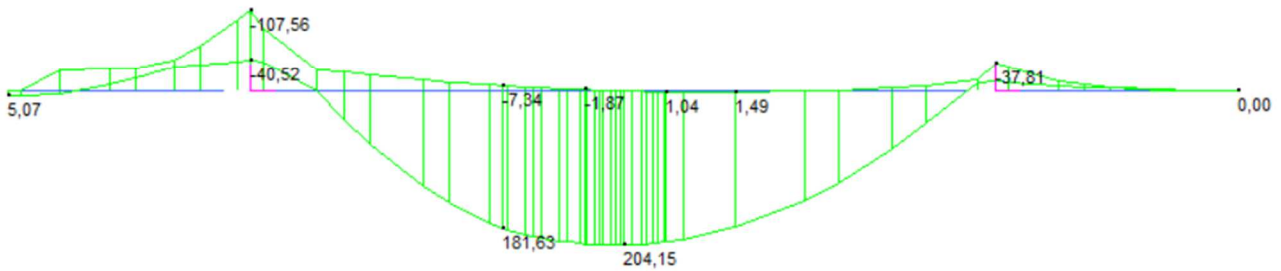


Figura 65 – Involuppo SLU - Momento flettente (kNm)

	MIN	MAX
SF2(kN)	-197,83	276,56
	[Bm.7]	[Bm.4]



Figura 66 – Involuppo sollecitazioni di taglio SLU (kN)

16.2.3 Riepilogo sollecitazioni di verifica

Momento positivo

SLU	$M \cong 204.15$ kNm/m
SLE_R	$M \cong 111.65$ kNm/m
SLE_F	$M \cong 109.97$ kNm/m
Q.P.	$M \cong 13.42$ kNm/m

Momento negativo

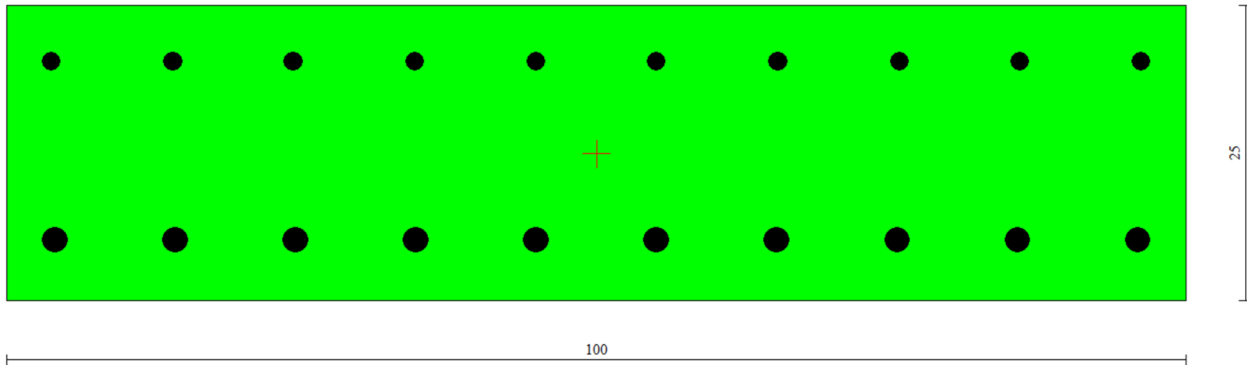
SLU	$M \cong -107.56$ kNm/m
SLE_R	$M \cong -60.33$ kNm/m
SLE_F	$M \cong -63.71$ kNm/m
Q.P.	$M \cong -13.32$ kNm/m

Taglio

SLU	$V \cong 276.56$ kNm/m
-----	------------------------

16.3 Verifiche strutturali soletta

16.3.1 Verifiche a pressoflessione SLU - SLE



Si prevede un'armatura pari a

Arm. Sup. $\Phi 16/100$
 Arm. Inf. $\Phi 22/100$

Nome sezione:	Sezione
Tipo sezione	Rettangolare
Base	100,0 [cm]
Altezza	25,0 [cm]

Caratteristiche geometriche

Area sezione	2500,00 [cmq]
Inerzia in direzione X	2083333,3 [cm ⁴]
Inerzia in direzione Y	130208,3 [cm ⁴]
Inerzia in direzione XY	0,0 [cm ⁴]
Ascissa baricentro sezione	$X_G = 50,00$ [cm]
Ordinata baricentro sezione	$Y_G = 12,50$ [cm]

Elenco ferri

Simbologia adottata

Posizione riferita all'origine	
N°	numero d'ordine
X	Ascissa posizione ferro espresso in [cm]
Y	Ordinata posizione ferro espresso in [cm]
d	Diametro ferro espresso in [mm]
ω	Area del ferro espresso in [cmq]

N°	X	Y	d	ω
1	96,20	20,20	16	2,01
2	85,93	20,20	16	2,01
3	75,67	20,20	16	2,01
4	65,40	20,20	16	2,01
5	55,13	20,20	16	2,01
6	44,87	20,20	16	2,01
7	34,60	20,20	16	2,01
8	24,33	20,20	16	2,01
9	14,07	20,20	16	2,01
10	3,80	20,20	16	2,01
11	4,10	5,10	22	3,80
12	14,30	5,10	22	3,80
13	24,50	5,10	22	3,80
14	34,70	5,10	22	3,80
15	44,90	5,10	22	3,80
16	55,10	5,10	22	3,80
17	65,30	5,10	22	3,80

18	75,50	5,10	22	3,80
19	85,70	5,10	22	3,80
20	95,90	5,10	22	3,80

Materiale impiegato : Calcestruzzo armato

Caratteristiche calcestruzzo

Resistenza caratteristica calcestruzzo	45,000	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo	15,00	
Coeff. omogeneizzazione calcestruzzo tesato/compresso	1,00	
Forma diagramma tensione-deformazione	- PARABOLA-RETTANGOLO	

Caratteristiche acciaio per calcestruzzo

Tensione ammissibile acciaio	450,000	[MPa]
Tensione snervamento acciaio	450,000	[MPa]
Modulo elastico E	205942,924	[MPa]
Fattore di incrudimento acciaio	1,00	

Combinazioni

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
N	sforzio normale espresso in [kN]
M _y	momento lungo Y espresso in [kNm]
M _x	momento lungo X espresso in [kNm]
M _t	momento torcente espresso in [kNm]
T _y	taglio lungo Y espresso in [kN]
T _x	taglio lungo X espresso in [kN]
VD	verifica di dominio
VT	verifica tensionale (SLER - Combinazione rara, SLEF - Combinazione frequente, SLEQP - Combinazione quasi permanente, TAMM - Verifica a tensioni ammissibili)

N°	N	M _y	M _x	M _t	T _y	T _x	VD	VT
1	0,0000	204,1500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO
2	0,0000	111,6500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
3	0,0000	109,9700	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEF
4	0,0000	13,4200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP
5	0,0000	-107,5600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO
6	0,0000	-60,3300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
7	0,0000	-63,7100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEF
8	0,0000	-13,3200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP

Risultati analisi

Caratteristiche asse neutro

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
Xc	posizione asse neutro espresso in [cm]
α	inclinazione asse neutro rispetto all'orizzontale, espressa in [°]
(xi; yi) - (xf; yf)	Punti di intersezione dell'asse neutro con il perimetro della sezione, espressi in [cm]

N°	Xc	α	(xi; yi)	(xf; yf)
2	9,50	0,00	(0,00; 15,50)	(100,00; 15,50)
3	9,50	0,00	(0,00; 15,50)	(100,00; 15,50)
4	9,50	0,00	(0,00; 15,50)	(100,00; 15,50)
6	7,28	0,00	(100,00; 7,28)	(0,00; 7,28)
7	7,28	0,00	(100,00; 7,28)	(0,00; 7,28)
8	7,28	0,00	(100,00; 7,28)	(0,00; 7,28)

Risultati tensionali

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
σ _{c-max}	Tensione massima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
σ _{c-min}	Tensione minima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
σ _{f-max}	Tensione massima nel ferro espresso in [MPa]
σ _{f-min}	Tensione minima nel ferro espresso in [MPa]
τ _c	Tensione tangenziale nel calcestruzzo espresso in [MPa]

N°	σ _{c-max}	σ _{c-min}	τ _c	σ _{f-max}	σ _{f-min}
2	10,945	0,000	0,000	81,220	-179,719
3	10,780	0,000	0,000	79,998	-177,015
4	1,316	0,000	0,000	9,762	-21,602
6	6,665	0,000	0,000	29,961	-177,349

7	7,039	0,000	0,000	31,639	-187,285
8	1,472	0,000	0,000	6,615	-39,156

Sollecitazioni ultime

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
N _u	Sforzo normale ultimo, espresso in [kN]
M _{Xu}	Momento ultimo in direzione X, espresso in [kNm]
M _{Yu}	Momento ultimo in direzione Y, espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza

Combinazione n° 1

N_u	M_{Xu}	M_{Yu}	FS
0,0000	0,0000	<u>247,9701</u>	1,21

Combinazione n° 5

N_u	M_{Xu}	M_{Yu}	FS
0,0000	0,0000	<u>-144,4520</u>	1,34

Risultati fessurazione

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
M _X	Momento di prima fessurazione in direzione X, espresso in [kNm]
M _Y	Momento di prima fessurazione in direzione Y, espresso in [kNm]
σ _f	Tensione nell'acciaio, espressa in [MPa]
σ _c	Tensione nel calcestruzzo, espressa in [MPa]
A _{eff}	Area efficace a trazione, espressa in [cmq]
ε	Deformazione media acciaio teso, espressa in [°]
S _{rm}	Distanza media tra le fessure, espresso in [mm]
w	Ampiezza delle fessure, espressa in [mm]

N°	M _X	M _Y	σ _f	σ _c	A _{eff}	ε	S _{rm}	w
3	0,0000	35,3691	-56,932	-5,657	516,67	0,0732	106	0,1318
4	0,0000	35,3691	-56,932	-5,657	516,67	0,0000	0	0,0000
7	0,0000	-32,3221	-95,016	-8,688	590,59	0,0679	123	0,1421
8	0,0000	-32,3221	-95,016	-8,688	590,59	0,0000	0	0,0000

16.3.2 Verifiche a taglio SLU

L'armatura in zona tesa non rende la sezione priva di armatura trasversale in grado di resistere allo sforzo di taglio e pertanto è necessario disporre armatura specifica a taglio, con $\phi 10/200/200$ ganci trasversali.

$$V \cong 276.56 \text{ kNm/m}$$

NOME: Soletta		CALCOLO TAGLIO RESISTENTE SEZIONE RETTANGOLARE								Rev. 09	
DATI SEZIONE				AZIONI CALCOLO				CALCESTRUZZO			
b_w (m)	d (m)	θ (°)	$\cotg \theta$	N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	M_{Ed} (kNm)	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	γ_c		
1,000	0,190	20,00	2,50	0,00	276,56	0,00	33,20	18,81	1,50		
1,00 ≤ cotg θ ≤ 2,50											
VERIFICA ARMATURE LONGITUDINALI (§4.1.2.1.3.1)											
	f_{yd} (MPa)	n	\emptyset (mm)	A_{sl} (cm ²)	F_{Rd} (kN)	ΔF_{td} (kN)	F_{Ed} (kN)	A_{sl} (cm ²)	F_{Rd} (kN)		
Barre B450C	391,30	10	22	38,01	1487,48	345,70	345,70	38,01	1487,48		
		0	22	0,00	0,00						
		0	12	0,00	0,00						
Trefoli Y1670	1452,17	0		0,00	0,00						
										F_{Ed}/F_{Rd}	
										23,2% VERIFICA OK	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§4.1.2.1.3.1)											
k	ρ_l (%)	v_{min} (MPa)	σ_{cp} (MPa)	α_c	Verificare con armatura trasversale				V_{Rd} (kN)	V_{Ed}/V_{Rd}	
2,000	2,00%	0,570	0,00	1,000					184,65	149,8%	-
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI (§4.1.2.1.3.2)											
	s (m)	$f_{yw,d}$ (MPa)	n_b	\emptyset (mm)	A_{sw} (cm ²)	α (°)	V_{Rsd} (kN)	V_{Rcd} (kN)	V_{Rd} (kN)	V_{Rd} (kN)	
Staffe	0,20	391,30	5	10	3,93	90	328,46	554,67	328,46	328,46	
Ferri piegati	-	391,30	0	20	0,00	45	0,00	776,54	0,00		
											V_{Ed}/V_{Rd}
											84,2% VERIFICA OK

17 INCIDENZA ARMATURE IN SOLETTA

Si riporta in tabella il calcolo dell'incidenza delle barre d'armatura nella soletta in calcestruzzo, valutata per metro di sviluppo longitudinale ed incrementata del 20% per tener conto delle sovrapposizioni.

SOLETTA							
POSIZIONE	∅ (mm)	n°/m (1/m) (1/mq)	LUNGH (mm)	QUANTITA' (num), (m), (mq)	TOT. QUANTITA' (num)	PESO (kg/cod)	TOT. PESO (kg)
Correnti	14	5,00	1000	8,0	40	1,21	48
	14	5,00	1000	8,0	40	1,21	48
Trasversali	16	10,00	8000	1,0	10	12,63	126
	22	10,00	8000	1,0	10	23,87	239
Staffe	10	25,00	370	8,0	200	0,23	46
						TOTALE (kg)	507
						+20%	609
						INCIDENZA (kg/mc)	304,4
CLS	QUANTITA'	SPESSORE	LUNGH	LUNGH	VOLUME	TOT. VOLUME	
	(n°)	(m)	(mq) (m)	(m) (mc)	(mc/cod)	(mc)	
Soletta	1	0,25	8,00	1,00	2,00	2,0	
					TOTALE (mc)	2,0	

18 ALLEGATI DI CALCOLO

INDICE

1	Modello FEM_PONTE TRESSA_FASE1.st7	2
1.1	BILL OF QUANTITIES	3
1.2	ELEMENT PROPERTIES SUMMARY	4
1.3	INPUT MODEL FILE	5
1.3.1	GENERAL DATA AND LOAD CASES	5
1.3.2	ELEMENT GEOMETRY	6
2	Modello FEM_PONTE TRESSA_FASE2.st7	9
2.1	BILL OF QUANTITIES	10
2.2	ELEMENT PROPERTIES SUMMARY	11
2.3	INPUT MODEL FILE	12
2.3.1	GENERAL DATA AND LOAD CASES	12
2.3.2	ELEMENT GEOMETRY	13
3	Modello FEM_PONTE TRESSA_FASE3.st7	16
3.1	BILL OF QUANTITIES	17
3.2	ELEMENT PROPERTIES SUMMARY	18
3.3	INPUT MODEL FILE	19
3.3.1	GENERAL DATA AND LOAD CASES	19
3.3.2	ELEMENT GEOMETRY	21
4	Modello FEM_PONTE TRESSA_SISMICA.st7	27
4.1	BILL OF QUANTITIES	28
4.2	ELEMENT PROPERTIES SUMMARY	29
4.3	INPUT MODEL FILE	31
4.3.1	GENERAL DATA AND LOAD CASES	31
4.3.2	ELEMENT GEOMETRY	33

1 MODELLO FEM_PONTE TRESSA_FASE1.ST7

1.1 BILL OF QUANTITIES

Model: Modello FEM_TRESSA_FASE1								
Bill of materials								
Selected groups: Model								
Included mass: Structural Mass								
	Mass kg	Volume m ³	Length m	Area m ²	Count	Material	Type	Section
Grand total:	116489,57	12,12	146,55					
Beam properties:								
6: Trave A- FS1	33626,31	3,56	38,00		8		Beam	
7: Trave B- FS1	49781,21	5,27	44,00		12		Beam	
8: Trave C- FS1	26947,51	2,85	22,00		6		Beam	
10: Traverso appoggio	1675,15	0,12	8,51		2		Beam	
13: Traverso campata	4459,38	0,32	34,04		8		Beam	
Total	116489,57	12,12	146,55		36			
Centre of mass								
	Mass kg	CM(X) m	CM(Y) m	CM(Z) m				
Model	116489,57	26,73	0,00	0,00				
Total:	116489,57	26,73	0,00	0,00				
Local inertia								
	Ixx kg.m ²	Iyy kg.m ²	Izz kg.m ²	Ixy kg.m ²	Iyz kg.m ...	Izx kg.m ...		
Model	449599,50	24268793,11	24718392,61	162979,82	0,00	0,00		
Total:	449599,50	24268793,11	24718392,61	162979,82	0,00	0,00		
Global inertia								
	IXX kg.m ²	IYY kg.m ²	IZZ kg.m ²	IXY kg.m ²	IYZ kg.m ...	IZX kg.m ...		
Model	449599,50	107468627,05	107918226,55	162979,82	0,00	0,00		
Total:	449599,50	107468627,05	107918226,55	162979,82	0,00	0,00		

1.2 ELEMENT PROPERTIES SUMMARY

Model: Modello FEM_TRESSA_FASE1											
Beam: Structural											
	Material	E MPa	G MPa	V	ρ kg/m ³	Mass/Length kg/m	C kNs/m/m ³	ξ	α /C	NonLinear	Hardening
6: Trave A- FS1	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	9444,00	884,90	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
7: Trave B- FS1	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	9444,00	1131,39	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
8: Trave C- FS1	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	9444,00	1224,89	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	196,86	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
13: Traverso campata	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	131,01	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
Beam: Heat transfer											
	Material	ρ kg/m ³	Cp J/kg/C	K J/s/m/C							
6: Trave A- FS1	Steel - Modified	9444,00	500,00	51,00							
7: Trave B- FS1	Steel - Modified	9444,00	500,00	51,00							
8: Trave C- FS1	Steel - Modified	9444,00	500,00	51,00							
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00							
13: Traverso campata	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00							
Beam: Sections											
	Section	Section Type	Area m ²	I11 m ⁴	I22 m ⁴	J m ⁴	SL1 m	SL2 m	SA1 m ²	SA2 m ²	
6: Trave A- FS1	Undefined Section	Undefined Section	0,09	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7: Trave B- FS1	Undefined Section	Undefined Section	0,12	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8: Trave C- FS1	Undefined Section	Undefined Section	0,13	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Beam: Geometry											
	Section	Section Type									
6: Trave A- FS1	Undefined Section	Undefined Section									
7: Trave B- FS1	Undefined Section	Undefined Section									
8: Trave C- FS1	Undefined Section	Undefined Section									
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section									
13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section									

1.3 INPUT MODEL FILE

1.3.1 GENERAL DATA AND LOAD CASES

```

/
/
-----
/ STRAUS7 MODEL EXCHANGE FILE
/
-----
/ MODEL INFORMATION
  FileFormat      Straus7.2.3.3
  ModelName       "Modello FEM_TRESSA_FASE1"
  Title           ""
  Project         ""
  Author          ""
  Reference       ""
  Comments        ""
/
-----
/ UNITS
  LengthUnit      m
  MassUnit        kg
  EnergyUnit      J
  PressureUnit    MPa
  ForceUnit       kN
  TemperatureUnit C
/
-----
/ GROUP DEFINITIONS
  Group           1    16711680  "\\Model"
/
-----
/ FREEDOM CASE DEFINITIONS
  FreedomCase     1    0    1  "Freedom Case 1"
/
-----
/ LOAD CASE DEFINITIONS
  LoadCase        14    1  "p.p."
  Gravity          3    -9.810000000000000E+0
  LCInclude        1
  LoadCase        15    0  "Soletta"
  LCInclude        3
/
-----
/ LOAD CASE COMBINATIONS
  LoadCaseCombination 16  "1A_FR"
  14  1.000000000000000E+0
  15  1.000000000000000E+0
  LoadCaseCombination 17  "1A_RA"
  14  1.000000000000000E+0
  15  1.000000000000000E+0
  LoadCaseCombination 18  "1A_SLU"
  14  1.350000000000000E+0
  15  1.350000000000000E+0
/
-----
/ RESULT CASE ENVELOPES
  LoadCaseEnvelope "3A_ENV_FR_max" Max
  ON 16
  ON 17
  LoadCaseEnvelope "3A_ENV_FR_min" Min
  ON 16
  ON 17
  LoadCaseEnvelope "3B_ENV_FR_max" Max
  ON 18
  ON 19
  ON 20
  LoadCaseEnvelope "3B_ENV_FR_min" Min
  ON 18
  ON 19
  ON 20
  LoadCaseEnvelope "3A_ENV_RA_max" Max
  ON 21
  ON 22
  LoadCaseEnvelope "3A_ENV_RA_min" Min

```

```

ON 21
ON 22
LoadCaseEnvelope "3B_ENV_RA_max" Max
ON 23
ON 24
ON 25
LoadCaseEnvelope "3B_ENV_RA_min" Min
ON 23
ON 24
ON 25
LoadCaseEnvelope "3A_ENV_SLU_max" Max
ON 26
ON 27
LoadCaseEnvelope "3A_ENV_SLU_min" Min
ON 26
ON 27
LoadCaseEnvelope "3B_ENV_SLU_max" Max
ON 28
ON 29
ON 30
LoadCaseEnvelope "3B_ENV_SLU_min" Min
ON 28
ON 29
ON 30

```

1.3.2 ELEMENT GEOMETRY

/

/ COORDINATE SYSTEM DEFINITIONS

CoordSys	1	"Global XYZ"	GlobalXYZ
CoordSys	2	"UCS 1" RectUCS	
5.200000000000000E+1		-2.000000000000000E+0	-2.700000000000000E+0
5.345000000000000E+1		2.000000000000000E+0	-2.700000000000000E+0
5.200000000000000E+1		-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0

/

/ NODE COORDINATES

Node	1	0.000000000000000E+0	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	2	5.000000000000000E+0	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	3	9.500000000000000E+0	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	4	1.100000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	5	1.700000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	6	2.050000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	7	2.300000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	8	2.900000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	9	3.150000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	10	3.500000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	11	4.100000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	12	4.250000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	13	4.700000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	14	5.200000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	15	1.450000000000000E+0	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	16	6.450000000000000E+0	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	17	1.095000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	18	1.245000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	19	1.845000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	20	2.195000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	21	2.445000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	22	3.045000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	23	3.295000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	24	3.645000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	25	4.245000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	26	4.395000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	27	4.845000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	28	5.345000000000000E+1	2.000000000000000E+0	0.000000000000000E+0
Node	29	0.000000000000000E+0	-2.000000000000000E+0	-2.700000000000000E+0
Node	30	5.200000000000000E+1	-2.000000000000000E+0	-2.700000000000000E+0
Node	31	1.450000000000000E+0	2.000000000000000E+0	-2.700000000000000E+0
Node	32	5.345000000000000E+1	2.000000000000000E+0	-2.700000000000000E+0

/

/ BEAM ELEMENTS

Beam	1	1	6	1	2
Beam	2	1	6	2	3
Beam	3	1	6	12	13
Beam	4	1	6	13	14
Beam	5	1	7	3	4
Beam	6	1	7	4	5
Beam	7	1	7	5	6
Beam	8	1	7	11	12
Beam	9	1	7	10	11
Beam	10	1	7	9	10
Beam	11	1	8	6	7
Beam	12	1	8	7	8
Beam	13	1	8	8	9
Beam	14	1	6	15	16
Beam	15	1	6	16	17
Beam	16	1	6	26	27
Beam	17	1	6	27	28
Beam	18	1	7	17	18
Beam	19	1	7	18	19
Beam	20	1	7	19	20
Beam	21	1	7	25	26
Beam	22	1	7	24	25
Beam	23	1	7	23	24
Beam	24	1	8	20	21
Beam	25	1	8	21	22
Beam	26	1	8	22	23
Beam	27	1	13	2	16
Beam	28	1	13	13	27
Beam	29	1	10	1	15
Beam	30	1	10	14	28
Beam	31	1	13	4	18
Beam	32	1	13	5	19
Beam	33	1	13	7	21
Beam	34	1	13	8	22
Beam	35	1	13	10	24
Beam	36	1	13	11	25

/

/ BEAM ANGLES

BmAngle	1	270.00
BmAngle	2	270.00
BmAngle	3	270.00
BmAngle	4	270.00
BmAngle	5	270.00
BmAngle	6	270.00
BmAngle	7	270.00
BmAngle	8	270.00
BmAngle	9	270.00
BmAngle	10	270.00
BmAngle	11	270.00
BmAngle	12	270.00
BmAngle	13	270.00
BmAngle	14	270.00
BmAngle	15	270.00
BmAngle	16	270.00
BmAngle	17	270.00
BmAngle	18	270.00
BmAngle	19	270.00
BmAngle	20	270.00
BmAngle	21	270.00

BmAngle	22	270.00
BmAngle	23	270.00
BmAngle	24	270.00
BmAngle	25	270.00
BmAngle	26	270.00
BmAngle	27	90.00
BmAngle	28	90.00
BmAngle	29	90.00
BmAngle	30	90.00
BmAngle	31	90.00
BmAngle	32	90.00
BmAngle	33	90.00
BmAngle	34	90.00
BmAngle	35	90.00
BmAngle	36	90.00

/

/ RIGID LINKS

RigidLink	1	29	1	XYZ
RigidLink	1	31	15	XYZ
RigidLink	1	30	14	XYZ
RigidLink	1	32	28	XYZ

/

/ NODE RESTRAINTS (ROTATION AS RADIAN)

/ Freedom Case 1

NdFreedom	1	29	1		DZ
NdFreedom	1	30	2		DY DZ
NdFreedom	1	31	1		DY DZ
NdFreedom	1	32	2	DX	DY DZ

/

/ BEAM GLOBAL DISTRIBUTED LOADS

/ Soletta

BmDistLoadG	15	1	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	2	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	3	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	4	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	5	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	6	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	7	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	8	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	9	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	10	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	11	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	12	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	13	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	14	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	15	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	16	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	17	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	18	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	19	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	20	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	21	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	22	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	23	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	24	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	25	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	15	26	Z	1	-2.500000000000000E+1	-2.500000000000000E+1	0.000000000000000E+0
0.000000000000000E+0	0.00		0.00				

/

/ BEAM PROPERTIES

BeamProp	6	"Trave A- FS1"
MaterialName		"Steel - Modified"
Modulus		2.000000000000000E+5
ShearMod		8.000000000000000E+4
Poisson		2.500000000000000E-1
UsePoisson		TRUE
Density		9.444000000000000E+3
Expansion		1.150000000000000E-5
ThermalCond		5.100000000000000E+1
SpecificHeat		5.000000000000000E+2
Area		9.370000000000000E-2
MomentI11		1.065000000000000E-1
MomentI22		3.354620000000000E-3
MomentJ		1.628000000000000E-5
SectionType		Null
NonLinType		Elasticplastic
Hardening		Isotropic

BeamProp	7	"Trave B- FS1"
MaterialName		"Steel - Modified"

```

Modulus      2.00000000000000E+5
ShearMod     8.00000000000000E+4
Poisson      2.50000000000000E-1
UsePoisson   TRUE
Density      9.44400000000000E+3
Expansion    1.15000000000000E-5
ThermalCond  5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area         1.19800000000000E-1
MomentI11   1.54500000000000E-1
MomentI22   5.66089000000000E-3
MomentJ      5.66700000000000E-5
SectionType  Null
NonLinType   Elasticplastic
Hardening    Isotropic

BeamProp      8 "Trave C- FS1"
MaterialName  "Steel - Modified"
Modulus      2.00000000000000E+5
ShearMod     8.00000000000000E+4
Poisson      2.50000000000000E-1
UsePoisson   TRUE
Density      9.44400000000000E+3
Expansion    1.15000000000000E-5
ThermalCond  5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area         1.29700000000000E-1
MomentI11   1.64700000000000E-1
MomentI22   5.68089000000000E-3
MomentJ      3.84600000000000E-5
SectionType  Null
NonLinType   Elasticplastic
Hardening    Isotropic

BeamProp     10 "Traverso appoggio"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus      2.00000000000000E+5
ShearMod     8.00000000000000E+4
Poisson      2.50000000000000E-1
UsePoisson   TRUE
Density      1.41300000000000E+4
ThermalCond  5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area         1.39320000000000E-2
MomentI11   1.81203073900000E-2
MomentI22   6.60000000000000E-5
SectionType  Null
NonLinType   Elasticplastic
Hardening    Isotropic

BeamProp     13 "Traverso campata"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus      2.00000000000000E+5
ShearMod     8.00000000000000E+4
Poisson      2.50000000000000E-1
UsePoisson   TRUE
Density      1.41300000000000E+4
ThermalCond  5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area         9.27200000000000E-3
MomentI11   1.20522914480000E-2
MomentI22   2.82000000000000E-5
SectionType  Null
NonLinType   Elasticplastic
Hardening    Isotropic

```

2 MODELLO FEM_ PONTE TRESSA _FASE2.ST7

2.1 BILL OF QUANTITIES

Model: Modello FEM_TRESSA_FASE2								
Bill of materials								
Selected groups:								
Model								
Included mass:								
Structural Mass								
	Mass	Volume	Length	Area	Count	Material	Type	Section
	kg	m³	m	m²				
Grand total:	6134,54	20,87	146,55					
Beam properties:								
10: Traverso appoggio	1675,15	0,12	8,51		2		Beam	
13: Traverso campata	4459,38	0,32	34,04		8		Beam	
14: Trave A- FS2	0,00	6,76	38,00		8		Beam	
15: Trave B- FS2	0,00	8,97	44,00		12		Beam	
16: Trave C- FS2	0,00	4,70	22,00		6		Beam	
Total	6134,54	20,87	146,55		36			
Centre of mass								
	Mass	CM(X)	CM(Y)	CM(Z)				
	kg	m	m	m				
Model	6134,54	26,73	0,00	0,00				
Total:	6134,54	26,73	0,00	0,00				
Local inertia								
	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Iyz	Izx		
	kg.m²	kg.m²	kg.m²	kg.m²	kg.m ...	kg.m ...		
Model	8179,38	1976302,88	1984482,27	2965,03	0,00	0,00		
Total:	8179,38	1976302,88	1984482,27	2965,03	0,00	0,00		
Global inertia								
	IXX	IYY	IZZ	IXY	IYZ	IZX		
	kg.m²	kg.m²	kg.m²	kg.m²	kg.m ...	kg.m ...		
Model	8179,38	6357747,41	6365926,80	2965,03	0,00	0,00		
Total:	8179,38	6357747,41	6365926,80	2965,03	0,00	0,00		

2.2 ELEMENT PROPERTIES SUMMARY

Model: Modello FEM_TRESSA_FASE2											
Beam: Structural											
	Material	E MPa	G MPa	V	ρ kg/m ³	Mass/Length kg/m	C kNs/m/m ³	ξ	α /C	NonLinear	Hardening
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	196,86	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
13: Traverso campata	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	131,01	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
14: Trave A- FS2	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
15: Trave B- FS2	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
16: Trave C- FS2	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
Beam: Heat transfer											
	Material	ρ kg/m ³	Cp J/kg/C	K J/s/m/C							
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00							
13: Traverso campata	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00							
14: Trave A- FS2	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00							
15: Trave B- FS2	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00							
16: Trave C- FS2	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00							
Beam: Sections											
	Section	Section Type	Area m ²	I11 m ⁴	I22 m ⁴	J m ⁴	SL1 m	SL2 m	SA1 m ²	SA2 m ²	
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
14: Trave A- FS2	Undefined Section	Undefined Section	0,18	0,23	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
15: Trave B- FS2	Undefined Section	Undefined Section	0,20	0,30	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16: Trave C- FS2	Undefined Section	Undefined Section	0,21	0,33	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Beam: Geometry											
	Section	Section Type									
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section									
13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section									
14: Trave A- FS2	Undefined Section	Undefined Section									
15: Trave B- FS2	Undefined Section	Undefined Section									
16: Trave C- FS2	Undefined Section	Undefined Section									

2.3 INPUT MODEL FILE

2.3.1 GENERAL DATA AND LOAD CASES

```
//  
-----  
/ STRAUS7 MODEL EXCHANGE FILE  
-----  
/ MODEL INFORMATION  
FileFormat          Straus7.2.3.3  
ModelName           "Modello FEM_TRESSA_FASE2"  
Title               ""  
Project             ""  
Author              ""  
Reference            ""  
Comments            ""  
-----  
/ UNITS  
-----  
LengthUnit          m  
MassUnit            kg  
EnergyUnit          J  
PressureUnit        MPa  
ForceUnit           kN  
TemperatureUnit     C  
-----  
/ GROUP DEFINITIONS  
-----  
Group               1      16711680  "\\Model"  
-----  
/ FREEDOM CASE DEFINITIONS  
-----  
FreedomCase         1      0      1      "Freedom Case 1"  
-----  
/ LOAD CASE DEFINITIONS  
-----  
LoadCase            16      0      "perm. non strutturali"  
LCInclude           3  
-----  
LoadCase            17      0      "Ritiro"  
LCInclude           3  
-----  
/ LOAD CASE COMBINATIONS  
-----  
LoadCaseCombination 18      "3A_FR1"  
8                  5.000000000000000E-1  
11                 5.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 19      "3A_FR2"  
9                  5.000000000000000E-1  
12                 5.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 20      "3B_FR1"  
4                  4.000000000000000E-1  
5                  7.500000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 21      "3B_FR2"  
4                  4.000000000000000E-1  
6                  7.500000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 22      "3B_FR3"  
4                  4.000000000000000E-1  
7                  7.500000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 23      "3A_RA1"  
8                  6.000000000000000E-1  
11                 6.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 24      "3A_RA2"  
9                  6.000000000000000E-1  
12                 6.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 25      "3B_RA1"  
4                  1.000000000000000E+0  
5                  1.000000000000000E+0  
10                 6.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 26      "3B_RA2"  
4                  1.000000000000000E+0  
6                  1.000000000000000E+0  
10                 6.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 27      "3B_RA3"  
4                  1.000000000000000E+0  
7                  1.000000000000000E+0  
10                 6.000000000000000E-1
```

```
LoadCaseCombination 28      "3A_SLU1"  
8                  9.000000000000000E-1  
11                 9.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 29      "3A_SLU2"  
9                  9.000000000000000E-1  
12                 9.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 30      "3B_SLU1"  
4                  1.350000000000000E+0  
5                  1.350000000000000E+0  
10                 9.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 31      "3B_SLU2"  
4                  1.350000000000000E+0  
6                  1.350000000000000E+0  
10                 9.000000000000000E-1  
-----  
LoadCaseCombination 32      "3B_SLU3"  
4                  1.350000000000000E+0  
7                  1.350000000000000E+0  
10                 9.000000000000000E-1
```

/ RESULT CASE ENVELOPES

```
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_FR_max"  Max  
ON                  18  
ON                  19  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_FR_min"  Min  
ON                  18  
ON                  19  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_FR_max"  Max  
ON                  20  
ON                  21  
ON                  22  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_FR_min"  Min  
ON                  20  
ON                  21  
ON                  22  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_RA_max"  Max  
ON                  23  
ON                  24  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_RA_min"  Min  
ON                  23  
ON                  24  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_RA_max"  Max  
ON                  25  
ON                  26  
ON                  27  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_RA_min"  Min  
ON                  25  
ON                  26  
ON                  27  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_SLU_max"  Max  
ON                  28  
ON                  29  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_SLU_min"  Min  
ON                  28  
ON                  29  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_SLU_max"  Max  
ON                  30  
ON                  31  
ON                  32  
-----  
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_SLU_min"  Min  
ON                  30  
ON                  31  
ON                  32
```

2.3.2 ELEMENT GEOMETRY

```

/
/-----
/ COORDINATE SYSTEM DEFINITIONS
CoordSys          1  "Global XYZ"  GlobalXYZ
CoordSys          2  "UCS 1"  RectUCS
5.200000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 -2.700000000000000E+0
5.345000000000000E+1 2.000000000000000E+0 -2.700000000000000E+0
5.200000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
/
/-----
/ NODE COORDINATES
Node              1  0.000000000000000E+0 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              2  5.000000000000000E+0 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              3  9.500000000000000E+0 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              4  1.100000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              5  1.700000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              6  2.050000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              7  2.300000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              8  2.900000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node              9  3.150000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             10  3.500000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             11  4.100000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             12  4.250000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             13  4.700000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             14  5.200000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             15  1.450000000000000E+0 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             16  6.450000000000000E+0 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             17  1.095000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             18  1.245000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             19  1.845000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             20  2.195000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             21  2.445000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             22  3.045000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             23  3.295000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             24  3.645000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             25  4.245000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             26  4.395000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             27  4.845000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             28  5.345000000000000E+1 2.000000000000000E+0 0.000000000000000E+0
Node             29  0.000000000000000E+0 -2.000000000000000E+0 -2.700000000000000E+0
Node             30  5.200000000000000E+1 -2.000000000000000E+0 -2.700000000000000E+0
Node             31  1.450000000000000E+0 2.000000000000000E+0 -2.700000000000000E+0
Node             32  5.345000000000000E+1 2.000000000000000E+0 -2.700000000000000E+0
/
/-----
/ BEAM ELEMENTS
Beam              1  1  14  1  2
Beam              2  1  14  2  3
Beam              3  1  14  12  13
Beam              4  1  14  13  14
Beam              5  1  15  3  4
Beam              6  1  15  4  5
Beam              7  1  15  5  6
Beam              8  1  15  11  12
Beam              9  1  15  10  11
Beam             10  1  15  9  10
Beam             11  1  16  6  7
Beam             12  1  16  7  8
Beam             13  1  16  8  9
Beam             14  1  14  15  16
Beam             15  1  14  16  17
Beam             16  1  14  26  27
Beam             17  1  14  27  28
Beam             18  1  15  17  18
Beam             19  1  15  18  19
Beam             20  1  15  19  20
Beam             21  1  15  25  26
Beam             22  1  15  24  25
Beam             23  1  15  23  24
Beam             24  1  16  20  21
Beam             25  1  16  21  22
Beam             26  1  16  22  23
Beam             27  1  13  2  16
Beam             28  1  13  13  27
Beam             29  1  10  1  15
Beam             30  1  10  14  28
Beam             31  1  13  4  18
Beam             32  1  13  5  19
Beam             33  1  13  7  21
Beam             34  1  13  8  22
Beam             35  1  13  10  24
Beam             36  1  13  11  25
/
/-----
/ BEAM ANGLES
BmAngle          1  270.00
BmAngle          2  270.00
BmAngle          3  270.00
BmAngle          4  270.00
BmAngle          5  270.00
BmAngle          6  270.00
BmAngle          7  270.00
BmAngle          8  270.00
BmAngle          9  270.00
BmAngle         10  270.00
BmAngle         11  270.00
BmAngle         12  270.00
BmAngle         13  270.00
BmAngle         14  270.00
BmAngle         15  270.00
BmAngle         16  270.00
BmAngle         17  270.00
BmAngle         18  270.00

```

BmAngle	19	270.00
BmAngle	20	270.00
BmAngle	21	270.00
BmAngle	22	270.00
BmAngle	23	270.00
BmAngle	24	270.00
BmAngle	25	270.00
BmAngle	26	270.00
BmAngle	27	90.00
BmAngle	28	90.00
BmAngle	29	90.00
BmAngle	30	90.00
BmAngle	31	90.00
BmAngle	32	90.00
BmAngle	33	90.00
BmAngle	34	90.00
BmAngle	35	90.00
BmAngle	36	90.00

/

/ RIGID LINKS

RigidLink	1	29	1	XYZ
RigidLink	1	31	15	XYZ
RigidLink	1	30	14	XYZ
RigidLink	1	32	28	XYZ

/

/ NODE RESTRAINTS (ROTATION AS RADIAN)

/ Freedom Case 1

NdFreedom	1	29	1		DZ
NdFreedom	1	30	2		DY DZ
NdFreedom	1	31	1		DY DZ
NdFreedom	1	32	2	DX	DY DZ

/

/ BEAM GLOBAL DISTRIBUTED LOADS

/ perm. non strutturali

BmDistLoadG	16	1	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	2	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	3	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	4	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	5	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	6	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	7	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	8	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	9	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	10	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	11	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	12	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	13	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	14	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	15	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	16	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	17	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	18	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	19	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	20	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	21	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	22	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	23	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	24	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	25	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				
BmDistLoadG	16	26	Z	1	-1.69000000000000E+1	-1.69000000000000E+1	0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0	0.00		0.00				

/

/ BEAM PROPERTIES

BeamProp	10	"Traverso appoggio"
MaterialName		"Steel - Modified"
Modulus		2.00000000000000E+5
ShearMod		8.00000000000000E+4
Poisson		2.50000000000000E-1
UsePoisson		TRUE
Density		1.41300000000000E+4
ThermalCond		5.10000000000000E+1
SpecificHeat		5.00000000000000E+2
Area		1.39320000000000E-2
MomentI11		1.81203073900000E-2
MomentI22		6.60000000000000E-5
SectionType		Null
NonLinType		Elasticplastic
Hardening		Isotropic

BeamProp 13 "Traverso campata"

```

MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Density          1.413000000000000E+4
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             9.272000000000000E-3
MomentI11       1.205229144800000E-2
MomentI22       2.820000000000000E-5
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          14  "Trave A- FS2"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Expansion        1.150000000000000E-5
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             1.778000000000000E-1
MomentI11       2.307000000000000E-1
MomentI22       1.072777200000000E-1
MomentJ         1.640080000000000E-3
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          15  "Trave B- FS2"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Expansion        1.150000000000000E-5
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             2.039000000000000E-1
MomentI11       3.001000000000000E-1
MomentI22       1.095839900000000E-1
MomentJ         1.680470000000000E-3
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          16  "Trave C- FS2"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Expansion        1.150000000000000E-5
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             2.138000000000000E-1
MomentI11       3.293000000000000E-1
MomentI22       1.096039900000000E-1
MomentJ         1.662260000000000E-3
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

```

3 MODELLO FEM_ PONTE TRESSA _FASE3.ST7

3.1 BILL OF QUANTITIES

Model: Modello FEM_TRESSA_FASE3								
Bill of materials								
Selected groups: Model								
Included mass: Structural Mass								
	Mass kg	Volum... m ³	Length m	Area m ²	Count	Materi...	Type	Section
Grand total:	6134,54	29,64	146,55					
Beam properties:								
10: Traverso appoggio	1675,15	0,12	8,51		2		Beam	
13: Traverso campata	4459,38	0,32	34,04		8		Beam	
17: Trave A- FS3	0,00	9,96	38,00		8		Beam	
18: Trave B- FS3	0,00	12,69	44,00		12		Beam	
19: Trave C- FS3	0,00	6,56	22,00		6		Beam	
Total	6134,54	29,64	146,55		36			
Centre of mass								
	Mass kg	CM(X) m	CM(Y... m	CM(Z) m				
Model	6134,54	26,73	0,00	0,00				
Total:	6134,54	26,73	0,00	0,00				
Local inertia								
	Ixx kg.m ²	Iyy kg.m ²	Izz kg.m ²	Ixy kg.m ²	Iyz ...	Izx ...		
Model	8179,38	1976302,88	1984482,27	2965,03	0,00	0,00		
Total:	8179,38	1976302,88	1984482,27	2965,03	0,00	0,00		
Global inertia								
	IXX kg.m ²	IYY kg.m ²	IZZ kg.m ²	IXY kg.m ²	IYZ ...	IZX ...		
Model	8179,38	6357747,41	6365926,80	2965,03	0,00	0,00		
Total:	8179,38	6357747,41	6365926,80	2965,03	0,00	0,00		

3.2 ELEMENT PROPERTIES SUMMARY

Model: Modello FEM_TRESSA_FASE3												
Beam: Structural												
	Material	E MPa	G MPa	V	ρ kg/m ³	Mass/Lengt... kg/m	...	C	ξ	α /C	NonLinear	Hardening
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	196,86		0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
13: Traverso campata	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	131,01		0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
17: Trave A- FS3	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
18: Trave B- FS3	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
19: Trave C- FS3	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic
Beam: Heat transfer												
	Material	ρ kg/m ³	Cp J/kg/C	K J/s/m...								
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00								
13: Traverso campata	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00								
17: Trave A- FS3	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
18: Trave B- FS3	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
19: Trave C- FS3	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
Beam: Sections												
	Section	Section Type	Area m ²	I11 m ⁴	I22 m ⁴	J m ⁴	SL1 m	SL2 m	SA1 m ²	SA2 m ²		
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
17: Trave A- FS3	Undefined Section	Undefined Section	0,26	0,28	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
18: Trave B- FS3	Undefined Section	Undefined Section	0,29	0,36	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
19: Trave C- FS3	Undefined Section	Undefined Section	0,30	0,40	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Beam: Geometry												
	Section	Section Type										
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section										
13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section										
17: Trave A- FS3	Undefined Section	Undefined Section										
18: Trave B- FS3	Undefined Section	Undefined Section										
19: Trave C- FS3	Undefined Section	Undefined Section										

3.3 INPUT MODEL FILE

3.3.1 GENERAL DATA AND LOAD CASES

```

//
//
/ STRAUS7 MODEL EXCHANGE FILE
/
/ MODEL INFORMATION
FileFormat          Straus7.2.3.3
ModelName           "Modello FEM_TRESSA_FASE3"
Title               ""
Project             ""
Author              ""
Reference           ""
Comments            ""
/
/ UNITS
LengthUnit          m
MassUnit             kg
EnergyUnit           J
PressureUnit         MPa
ForceUnit            kN
TemperatureUnit      C
/
/ GROUP DEFINITIONS
Group                1      16711680  "\\Model"
/
/ FREEDOM CASE DEFINITIONS
FreedomCase          1      0      1      "Freedom Case 1"
/
/ LOAD CASE DEFINITIONS
LoadCase              4      0      "Traffico distribuito"
LCInclude              3
LoadCase              5      0      "Traffico tandem_1"
LCInclude              3
LoadCase              6      0      "Traffico tandem_2"
LCInclude              3
LoadCase              7      0      "Traffico tandem_3"
LCInclude              3
LoadCase              12     0      "DT_M_heat"
LCInclude              3
LoadCase              11     0      "DT_M_cool"
LCInclude              3
LoadCase              10     0      "Vento ponte carico Y-"
LCInclude              3
LoadCase              13     0      "Vento ponte carico Y+"
LCInclude              3
LoadCase              14     1      "p.p."
Gravity                3      -9.810000000000000E+0
LCInclude              1
LoadCase              15     0      "Soletta"
LCInclude              3
LoadCase              16     0      "perm. non strutturali"
LCInclude              3
LoadCase              17     0      "Ritiro"
LCInclude              3
/
/ LOAD CASE COMBINATIONS
LoadCaseCombination  18     "3A_FR1"
8                    5.000000000000000E-1
11                   5.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  19     "3A_FR2"
9                    5.000000000000000E-1
12                   5.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  20     "3B_FR1"
4                    4.000000000000000E-1
5                    7.500000000000000E-1

```

```

LoadCaseCombination  21     "3B_FR2"
4                    4.000000000000000E-1
6                    7.500000000000000E-1
LoadCaseCombination  22     "3B_FR3"
4                    4.000000000000000E-1
7                    7.500000000000000E-1
LoadCaseCombination  23     "3A_RA1"
8                    6.000000000000000E-1
11                   6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  24     "3A_RA2"
9                    6.000000000000000E-1
12                   6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  25     "3B_RA1"
4                    1.000000000000000E+0
5                    1.000000000000000E+0
10                   6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  26     "3B_RA2"
4                    1.000000000000000E+0
6                    1.000000000000000E+0
10                   6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  27     "3B_RA3"
4                    1.000000000000000E+0
7                    1.000000000000000E+0
10                   6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  28     "3A_SLU1"
8                    9.000000000000000E-1
11                   9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  29     "3A_SLU2"
9                    9.000000000000000E-1
12                   9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  30     "3B_SLU1"
4                    1.350000000000000E+0
5                    1.350000000000000E+0
10                   9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  31     "3B_SLU2"
4                    1.350000000000000E+0
6                    1.350000000000000E+0
10                   9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination  32     "3B_SLU3"
4                    1.350000000000000E+0
7                    1.350000000000000E+0
10                   9.000000000000000E-1
/
/ RESULT CASE ENVELOPES
LoadCaseEnvelope     "3A_ENV_FR_max" Max
ON                    18
ON                    19
LoadCaseEnvelope     "3A_ENV_FR_min" Min
ON                    18
ON                    19
LoadCaseEnvelope     "3B_ENV_FR_max" Max
ON                    20
ON                    21
ON                    22
LoadCaseEnvelope     "3B_ENV_FR_min" Min
ON                    20
ON                    21
ON                    22
LoadCaseEnvelope     "3A_ENV_RA_max" Max
ON                    23
ON                    24
LoadCaseEnvelope     "3A_ENV_RA_min" Min
ON                    23
ON                    24
LoadCaseEnvelope     "3B_ENV_RA_max" Max
ON                    25
ON                    26
ON                    27
LoadCaseEnvelope     "3B_ENV_RA_min" Min
ON                    25
ON                    26
ON                    27
LoadCaseEnvelope     "3A_ENV_SLU_max" Max
ON                    28
ON                    29
LoadCaseEnvelope     "3A_ENV_SLU_min" Min
ON                    28
ON                    29

```

LoadCaseEnvelope	"3B_ENV_SLU_max"	Max
ON	30	
ON	31	
ON	32	
LoadCaseEnvelope	"3B_ENV_SLU_min"	Min
ON	30	
ON	31	
ON	32	

3.3.2 ELEMENT GEOMETRY

```

/
/
/ COORDINATE SYSTEM DEFINITIONS
CoordSys          1  "Global XYZ"  GlobalXYZ
CoordSys          2  "UCS 1"  RectUCS
5.20000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  -2.70000000000000E+0
5.34500000000000E+1  2.00000000000000E+0  -2.70000000000000E+0
5.20000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
/
/ NODE COORDINATES
Node              1  0.00000000000000E+0  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              2  5.00000000000000E+0  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              3  9.50000000000000E+0  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              4  1.10000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              5  1.70000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              6  2.05000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              7  2.30000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              8  2.90000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node              9  3.15000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             10  3.50000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             11  4.10000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             12  4.25000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             13  4.70000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             14  5.20000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             15  1.45000000000000E+0  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             16  6.45000000000000E+0  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             17  1.09500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             18  1.24500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             19  1.84500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             20  2.19500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             21  2.44500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             22  3.04500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             23  3.29500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             24  3.64500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             25  4.24500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             26  4.39500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             27  4.84500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             28  5.34500000000000E+1  2.00000000000000E+0  0.00000000000000E+0
Node             29  0.00000000000000E+0  -2.00000000000000E+0  -2.70000000000000E+0
Node             30  5.20000000000000E+1  -2.00000000000000E+0  -2.70000000000000E+0
Node             31  1.45000000000000E+0  2.00000000000000E+0  -2.70000000000000E+0
Node             32  5.34500000000000E+1  2.00000000000000E+0  -2.70000000000000E+0
/
/ BEAM ELEMENTS
Beam              1  1  17  1  2
Beam              2  1  17  2  3
Beam              3  1  17  12  13
Beam              4  1  17  13  14
Beam              5  1  18  3  4
Beam              6  1  18  4  5
Beam              7  1  18  5  6
Beam              8  1  18  11  12
Beam              9  1  18  10  11
Beam             10  1  18  9  10
Beam             11  1  19  6  7
Beam             12  1  19  7  8
Beam             13  1  19  8  9
Beam             14  1  17  15  16
Beam             15  1  17  16  17
Beam             16  1  17  26  27
Beam             17  1  17  27  28
Beam             18  1  18  17  18
Beam             19  1  18  18  19
Beam             20  1  18  19  20
Beam             21  1  18  25  26
Beam             22  1  18  24  25
Beam             23  1  18  23  24
Beam             24  1  19  20  21
Beam             25  1  19  21  22
Beam             26  1  19  22  23
Beam             27  1  13  2  16
Beam             28  1  13  13  27
Beam             29  1  10  1  15
Beam             30  1  10  14  28
Beam             31  1  13  4  18
Beam             32  1  13  5  19
Beam             33  1  13  7  21
Beam             34  1  13  8  22
Beam             35  1  13  10  24
Beam             36  1  13  11  25
/
/ BEAM ANGLES
BmAngle          1  270.00
BmAngle          2  270.00
BmAngle          3  270.00
BmAngle          4  270.00
BmAngle          5  270.00
BmAngle          6  270.00
BmAngle          7  270.00
BmAngle          8  270.00
BmAngle          9  270.00
BmAngle         10  270.00
BmAngle         11  270.00
BmAngle         12  270.00
BmAngle         13  270.00
BmAngle         14  270.00
BmAngle         15  270.00
BmAngle         16  270.00
BmAngle         17  270.00

```

BmAngle	18	270.00
BmAngle	19	270.00
BmAngle	20	270.00
BmAngle	21	270.00
BmAngle	22	270.00
BmAngle	23	270.00
BmAngle	24	270.00
BmAngle	25	270.00
BmAngle	26	270.00
BmAngle	27	90.00
BmAngle	28	90.00
BmAngle	29	90.00
BmAngle	30	90.00
BmAngle	31	90.00
BmAngle	32	90.00
BmAngle	33	90.00
BmAngle	34	90.00
BmAngle	35	90.00
BmAngle	36	90.00

```

/
/ RIGID LINKS
RigidLink      1      29      1      XYZ
RigidLink      1      31      15     XYZ
RigidLink      1      30      14     XYZ
RigidLink      1      32      28     XYZ

```

```

/
/ NODE RESTRAINTS (ROTATION AS RADIAN)
/ Freedom Case 1
NdFreedom      1      29      1      DZ
NdFreedom      1      30      2      DY DZ
NdFreedom      1      31      1      DY DZ
NdFreedom      1      32      2      DX DY DZ

```

```

/
/ BEAM GLOBAL DISTRIBUTED LOADS
/ Traffico distribuito
BmDistLoadG    4      1      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      2      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      3      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      4      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      5      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      6      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      7      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      8      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      9      Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      10     Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      11     Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      12     Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      13     Z      1      -2.64100000000000E+1  -2.64100000000000E+1  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      14     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      15     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      16     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      17     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      18     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      19     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      20     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      21     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      22     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      23     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      24     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      25     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00
BmDistLoadG    4      26     Z      1      -9.34000000000000E+0  -9.34000000000000E+0  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.00  0.00

```

```

/
/ BEAM GLOBAL DISTRIBUTED LOADS
/ Traffico tandem_1
BmDistLoadG    5      1      Z      1      -3.98440000000000E+2  -3.98440000000000E+2  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.68
BmDistLoadG    5      14     Z      1      -2.26560000000000E+2  -2.26560000000000E+2  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.00  0.68

```

```

/
/ BEAM GLOBAL DISTRIBUTED LOADS
/ Traffico tandem_2
BmDistLoadG    6      6      Z      1      -3.98440000000000E+2  -3.98440000000000E+2  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.37  0.37
BmDistLoadG    6      19     Z      1      -2.26560000000000E+2  -2.26560000000000E+2  0.00000000000000E+0
0.00000000000000E+0  0.37  0.37

```

```

/
/ BEAM GLOBAL DISTRIBUTED LOADS
/ Traffico tandem_3

```


/
/ BEAM PROPERTIES

BeamProp 10 "Traverso appoggio"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Density 1.41300000000000E+4
ThermalCond 5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area 1.39320000000000E-2
MomentI11 1.81203073900000E-2
MomentI22 6.60000000000000E-5
SectionType Null
NonLinType Elasticplastic
Hardening Isotropic

BeamProp 13 "Traverso campata"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Density 1.41300000000000E+4
ThermalCond 5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area 9.27200000000000E-3
MomentI11 1.20522914480000E-2
MomentI22 2.82000000000000E-5
SectionType Null
NonLinType Elasticplastic
Hardening Isotropic

BeamProp 17 "Trave A- FS3"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Expansion 1.15000000000000E-5
ThermalCond 5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area 2.62100000000000E-1
MomentI11 2.75500000000000E-1
MomentI22 2.19804840000000E-1
MomentJ 3.39832000000000E-3
SectionType Null
NonLinType Elasticplastic
Hardening Isotropic

BeamProp 18 "Trave B- FS3"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Expansion 1.15000000000000E-5
ThermalCond 5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area 2.88300000000000E-1
MomentI11 3.61100000000000E-1
MomentI22 2.22111100000000E-1
MomentJ 3.43870000000000E-3
SectionType Null
NonLinType Elasticplastic
Hardening Isotropic

BeamProp 19 "Trave C- FS3"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Expansion 1.15000000000000E-5
ThermalCond 5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area 2.98100000000000E-1
MomentI11 4.01400000000000E-1
MomentI22 2.22131100000000E-1
MomentJ 3.42049000000000E-3
SectionType Null
NonLinType Elasticplastic
Hardening Isotropic

4 MODELLO FEM_ PONTE TRESSA _SISMICA.ST7

4.1 BILL OF QUANTITIES

Model: Modello FEM_TRESSA_SISMICA								
Bill of materials								
Selected groups: Model								
Included mass: Structural Mass								
	Mass	Volum...	Length	Area	Count	Materi...	Type	Section
	kg	m³	m	m²				
Grand total:	6134,54	29,64	146,55					
Beam properties:								
10: Traverso appoggio	1675,15	0,12	8,51		2		Beam	
13: Traverso campata	4459,38	0,32	34,04		8		Beam	
17: Trave A- F53	0,00	9,96	38,00		8		Beam	
18: Trave B- F53	0,00	12,69	44,00		12		Beam	
19: Trave C- F53	0,00	6,56	22,00		6		Beam	
Total	6134,54	29,64	146,55		36			
Centre of mass								
	Mass	CM(X)	CM(Y...	CM(Z)				
	kg	m	m	m				
Model	6134,54	26,73	0,00	0,00				
Total:	6134,54	26,73	0,00	0,00				
Local inertia								
	Ixx	Iyy	Izz	Ixy	Iyz	Izx		
	kg.m²	kg.m²	kg.m²	kg.m²		
Model	8179,38	1976302,88	1984482,27	2965,03	0,00	0,00		
Total:	8179,38	1976302,88	1984482,27	2965,03	0,00	0,00		
Global inertia								
	IXX	IYY	IZZ	IXY	IYZ	IZX		
	kg.m²	kg.m²	kg.m²	kg.m²		
Model	8179,38	6357747,41	6365926,80	2965,03	0,00	0,00		
Total:	8179,38	6357747,41	6365926,80	2965,03	0,00	0,00		

4.2 ELEMENT PROPERTIES SUMMARY

Model: Modello FEM_TRESSA_SISMICA												
Beam: Structural												
	Material	E MPa	G MPa	V	ρ kg/m ³	Mass/Length kg/m	C kNs/m/m ...	ξ	α /C	NonLinear	Hardening	
6: Trave A- FS1	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	9444,00	884,90	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
7: Trave B- FS1	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	9444,00	1131,39	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
8: Trave C- FS1	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	9444,00	1224,89	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	196,86	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
13: Traverso campata	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	14130,00	131,01	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
14: Trave A- FS2	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
15: Trave B- FS2	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
16: Trave C- FS2	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
17: Trave A- FS3	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
18: Trave B- FS3	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
19: Trave C- FS3	Steel - Modified	200000,00	80000,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ElastoPlastic	Isotropic	
Beam: Heat transfer												
	Material	ρ kg/m ³	Cp J/kg/C	K J/s/m/C								
6: Trave A- FS1	Steel - Modified	9444,00	500,00	51,00								
7: Trave B- FS1	Steel - Modified	9444,00	500,00	51,00								
8: Trave C- FS1	Steel - Modified	9444,00	500,00	51,00								
10: Traverso appoggio	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00								
13: Traverso campata	Steel - Modified	14130,00	500,00	51,00								
14: Trave A- FS2	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
15: Trave B- FS2	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
16: Trave C- FS2	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
17: Trave A- FS3	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
18: Trave B- FS3	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
19: Trave C- FS3	Steel - Modified	0,00	500,00	51,00								
Beam: Sections												
	Section	Section Type	Area m ²	I11 m ⁴	I22 m ⁴	J m ⁴	SL1 m	SL2 m	SA1 m ²	SA2 m ²		
6: Trave A- FS1	Undefined Section	Undefined Section	0,09	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
7: Trave B- FS1	Undefined Section	Undefined Section	0,12	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
8: Trave C- FS1	Undefined Section	Undefined Section	0,13	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14: Trave A- FS2	Undefined Section	Undefined Section	0,18	0,23	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15: Trave B- FS2	Undefined Section	Undefined Section	0,20	0,30	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16: Trave C- FS2	Undefined Section	Undefined Section	0,21	0,33	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17: Trave A- FS3	Undefined Section	Undefined Section	0,26	0,28	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18: Trave B- FS3	Undefined Section	Undefined Section	0,29	0,36	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19: Trave C- FS3	Undefined Section	Undefined Section	0,30	0,40	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Beam: Geometry

	Section	Section Type
6: Trave A- FS1	Undefined Section	Undefined Section
7: Trave B- FS1	Undefined Section	Undefined Section
8: Trave C- FS1	Undefined Section	Undefined Section
10: Traverso appoggio	Undefined Section	Undefined Section
13: Traverso campata	Undefined Section	Undefined Section
14: Trave A- FS2	Undefined Section	Undefined Section
15: Trave B- FS2	Undefined Section	Undefined Section
16: Trave C- FS2	Undefined Section	Undefined Section
17: Trave A- FS3	Undefined Section	Undefined Section
18: Trave B- FS3	Undefined Section	Undefined Section
19: Trave C- FS3	Undefined Section	Undefined Section

4.3 INPUT MODEL FILE

4.3.1 GENERAL DATA AND LOAD CASES

```
/
/
/ STRAUS7 MODEL EXCHANGE FILE
/
/ MODEL INFORMATION
FileFormat          Straus7.2.3.3
ModelName           "Modello FEM_TRESSA_SISMICA"
Title               ""
Project             ""
Author              ""
Reference           ""
Comments            ""
/
/ UNITS
LengthUnit          m
MassUnit             kg
EnergyUnit           J
PressureUnit         MPa
ForceUnit            kN
TemperatureUnit     C
/
/ GROUP DEFINITIONS
Group               1    16711680    "\\Model"
/
/ FREEDOM CASE DEFINITIONS
FreedomCase         1    0    1    "Freedom Case 1"
/
/ LOAD CASE DEFINITIONS
LoadCase            14    1    "p.p."
Gravity             3    -9.810000000000000E+0
LCInclude           1
LoadCase            15    0    "Soletta"
LCInclude           3
LoadCase            16    0    "perm. non strutturali"
LCInclude           3
LoadCase            17    0    "Ritiro"
LCInclude           3
LoadCase            4    0    "Traffico distribuito"
LCInclude           3
LoadCase            5    0    "Traffico tandem_1"
LCInclude           3
LoadCase            6    0    "Traffico tandem_2"
LCInclude           3
LoadCase            7    0    "Traffico tandem_3"
LCInclude           3
LoadCase            12    0    "DT_M_heat"
LCInclude           3
LoadCase            11    0    "DT_M_cool"
LCInclude           3
LoadCase            10    0    "Vento ponte carico Y-"
LCInclude           3
LoadCase            13    0    "Vento ponte carico Y+"
LCInclude           3
LoadCase            18    0    "p.p._sism"
LCInclude           3
LoadCase            19    0    "Soletta_sism"
LCInclude           3
LoadCase            20    0    "perm. non
strutturale_sism"
LCInclude           3
/
/ LOAD CASE COMBINATIONS
LoadCaseCombination 21    "3A_FR1"
8    5.000000000000000E-1
```

```
11    5.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 22    "3A_FR2"
9    5.000000000000000E-1
12    5.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 23    "3B_FR1"
4    4.000000000000000E-1
5    7.500000000000000E-1
LoadCaseCombination 24    "3B_FR2"
4    4.000000000000000E-1
6    7.500000000000000E-1
LoadCaseCombination 25    "3B_FR3"
4    4.000000000000000E-1
7    7.500000000000000E-1
LoadCaseCombination 26    "3A_RA1"
8    6.000000000000000E-1
11    6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 27    "3A_RA2"
9    6.000000000000000E-1
12    6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 28    "3B_RA1"
4    1.000000000000000E+0
5    1.000000000000000E+0
10    6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 29    "3B_RA2"
4    1.000000000000000E+0
6    1.000000000000000E+0
10    6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 30    "3B_RA3"
4    1.000000000000000E+0
7    1.000000000000000E+0
10    6.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 31    "3A_SLU1"
8    9.000000000000000E-1
11    9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 32    "3A_SLU2"
9    9.000000000000000E-1
12    9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 33    "3B_SLU1"
4    1.350000000000000E+0
5    1.350000000000000E+0
10    9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 34    "3B_SLU2"
4    1.350000000000000E+0
6    1.350000000000000E+0
10    9.000000000000000E-1
LoadCaseCombination 35    "3B_SLU3"
4    1.350000000000000E+0
7    1.350000000000000E+0
10    9.000000000000000E-1
/
/ RESULT CASE ENVELOPES
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_FR_max"    Max
ON    21
ON    22
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_FR_min"    Min
ON    21
ON    22
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_FR_max"    Max
ON    23
ON    24
ON    25
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_FR_min"    Min
ON    23
ON    24
ON    25
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_RA_max"    Max
ON    26
ON    27
LoadCaseEnvelope    "3A_ENV_RA_min"    Min
ON    26
ON    27
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_RA_max"    Max
ON    28
ON    29
ON    30
LoadCaseEnvelope    "3B_ENV_RA_min"    Min
ON    28
ON    29
ON    30
```

LoadCaseEnvelope	"3A_ENV_SLU_max"	Max
ON	31	
ON	32	
LoadCaseEnvelope	"3A_ENV_SLU_min"	Min
ON	31	
ON	32	
LoadCaseEnvelope	"3B_ENV_SLU_max"	Max
ON	33	
ON	34	
ON	35	
LoadCaseEnvelope	"3B_ENV_SLU_min"	Min
ON	33	
ON	34	
ON	35	

4.3.2 ELEMENT GEOMETRY

```

/
/ COORDINATE SYSTEM DEFINITIONS
CoordSys      1  "Global XYZ"  GlobalXYZ

CoordSys      2  "UCS 1"  RectUCS
5.200000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  -2.700000000000000E+0
5.345000000000000E+1  2.000000000000000E+0  -2.700000000000000E+0
5.200000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0

/
/ NODE COORDINATES
Node          1  0.000000000000000E+0  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          2  5.000000000000000E+0  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          3  9.500000000000000E+0  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          4  1.100000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          5  1.700000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          6  2.050000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          7  2.300000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          8  2.900000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node          9  3.150000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         10  3.500000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         11  4.100000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         12  4.250000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         13  4.700000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         14  5.200000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         15  1.450000000000000E+0  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         16  6.450000000000000E+0  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         17  1.095000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         18  1.245000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         19  1.845000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         20  2.195000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         21  2.445000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         22  3.045000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         23  3.295000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         24  3.645000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         25  4.245000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         26  4.395000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         27  4.845000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         28  5.345000000000000E+1  2.000000000000000E+0  0.000000000000000E+0
Node         29  0.000000000000000E+0  -2.000000000000000E+0  -2.700000000000000E+0
Node         30  5.200000000000000E+1  -2.000000000000000E+0  -2.700000000000000E+0
Node         31  1.450000000000000E+0  2.000000000000000E+0  -2.700000000000000E+0
Node         32  5.345000000000000E+1  2.000000000000000E+0  -2.700000000000000E+0

/
/ BEAM ELEMENTS
Beam          1  1  17  1  2
Beam          2  1  17  2  3
Beam          3  1  17  12  13
Beam          4  1  17  13  14
Beam          5  1  18  3  4
Beam          6  1  18  4  5
Beam          7  1  18  5  6
Beam          8  1  18  11  12
Beam          9  1  18  10  11
Beam         10  1  18  9  10
Beam         11  1  19  6  7
Beam         12  1  19  7  8
Beam         13  1  19  8  9
Beam         14  1  17  15  16
Beam         15  1  17  16  17
Beam         16  1  17  26  27
Beam         17  1  17  27  28
Beam         18  1  18  17  18
Beam         19  1  18  18  19
Beam         20  1  18  19  20
Beam         21  1  18  25  26
Beam         22  1  18  24  25
Beam         23  1  18  23  24
Beam         24  1  19  20  21
Beam         25  1  19  21  22
Beam         26  1  19  22  23
Beam         27  1  13  2  16
Beam         28  1  13  13  27
Beam         29  1  10  1  15
Beam         30  1  10  14  28
Beam         31  1  13  4  18
Beam         32  1  13  5  19
Beam         33  1  13  7  21
Beam         34  1  13  8  22
Beam         35  1  13  10  24
Beam         36  1  13  11  25

/
/ BEAM ANGLES
BmAngle      1  270.00
BmAngle      2  270.00
BmAngle      3  270.00
BmAngle      4  270.00
BmAngle      5  270.00
BmAngle      6  270.00
BmAngle      7  270.00
BmAngle      8  270.00
BmAngle      9  270.00
BmAngle     10  270.00
BmAngle     11  270.00
BmAngle     12  270.00
BmAngle     13  270.00
BmAngle     14  270.00
BmAngle     15  270.00
BmAngle     16  270.00
BmAngle     17  270.00
BmAngle     18  270.00
BmAngle     19  270.00
BmAngle     20  270.00
BmAngle     21  270.00

```


BmNSMass	0.00	19	23	1	2.50000000000000E+3	2.50000000000000E+3	0.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0
BmNSMass	0.00	19	24	1	2.50000000000000E+3	2.50000000000000E+3	0.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0
BmNSMass	0.00	19	25	1	2.50000000000000E+3	2.50000000000000E+3	0.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0
BmNSMass	0.00	19	26	1	2.50000000000000E+3	2.50000000000000E+3	0.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0

```

/
/ BEAM NON-STRUCTURAL MASSES
/ perm. non strutturale_sism
BmNSMass 20 1 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 2 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 3 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 4 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 5 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 6 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 7 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 8 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 9 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 10 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 11 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 12 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 13 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 14 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 15 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 16 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 17 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 18 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 19 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 20 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 21 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 22 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 23 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 24 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 25 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0
BmNSMass 20 26 1 1.69000000000000E+3 1.69000000000000E+3 0.00000000000000E+0 0.00000000000000E+0

```

```

/
/ BEAM PROPERTIES

```

```

BeamProp 6 "Trave A- FS1"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Density 9.44400000000000E+3
Expansion 1.15000000000000E-5
ThermalCond 5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area 9.37000000000000E-2
MomentI11 1.06500000000000E-1
MomentI22 3.35462000000000E-3
MomentJ 1.62800000000000E-5
SectionType Null
NonLinType Elasticplastic
Hardening Isotropic

```

```

BeamProp 7 "Trave B- FS1"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Density 9.44400000000000E+3
Expansion 1.15000000000000E-5
ThermalCond 5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area 1.19800000000000E-1
MomentI11 1.54500000000000E-1
MomentI22 5.66089000000000E-3
MomentJ 5.66700000000000E-5
SectionType Null
NonLinType Elasticplastic
Hardening Isotropic

```

```

BeamProp 8 "Trave C- FS1"
MaterialName "Steel - Modified"
Modulus 2.00000000000000E+5
ShearMod 8.00000000000000E+4
Poisson 2.50000000000000E-1
UsePoisson TRUE
Density 9.44400000000000E+3
Expansion 1.15000000000000E-5
ThermalCond 5.10000000000000E+1

```

```

SpecificHeat      5.000000000000000E+2
Area              1.297000000000000E-1
MomentI11        1.647000000000000E-1
MomentI22        5.680890000000000E-3
MomentJ          3.846000000000000E-5
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          10  "Traverso appoggio"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Density           1.413000000000000E+4
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             1.393200000000000E-2
MomentI11        1.812030739000000E-2
MomentI22        6.600000000000000E-5
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          13  "Traverso campata"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Density           1.413000000000000E+4
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             9.272000000000000E-3
MomentI11        1.205229144800000E-2
MomentI22        2.820000000000000E-5
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          14  "Trave A- FS2"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Expansion         1.150000000000000E-5
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             1.778000000000000E-1
MomentI11        2.307000000000000E-1
MomentI22        1.072777200000000E-1
MomentJ          1.640080000000000E-3
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          15  "Trave B- FS2"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Expansion         1.150000000000000E-5
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             2.039000000000000E-1
MomentI11        3.001000000000000E-1
MomentI22        1.095839900000000E-1
MomentJ          1.680470000000000E-3
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          16  "Trave C- FS2"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Expansion         1.150000000000000E-5
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             2.138000000000000E-1
MomentI11        3.293000000000000E-1
MomentI22        1.096039900000000E-1
MomentJ          1.662260000000000E-3
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          17  "Trave A- FS3"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4
Poisson          2.500000000000000E-1
UsePoisson       TRUE
Expansion         1.150000000000000E-5
ThermalCond      5.100000000000000E+1
SpecificHeat     5.000000000000000E+2
Area             2.621000000000000E-1
MomentI11        2.755000000000000E-1
MomentI22        2.198048400000000E-1
MomentJ          3.398320000000000E-3
SectionType      Null
NonLinType       Elasticplastic
Hardening        Isotropic

BeamProp          18  "Trave B- FS3"
MaterialName      "Steel - Modified"
Modulus           2.000000000000000E+5
ShearMod         8.000000000000000E+4

```

```

Poisson      2.50000000000000E-1
UsePoisson   TRUE
Expansion    1.15000000000000E-5
ThermalCond  5.10000000000000E+1
SpecificHeat 5.00000000000000E+2
Area         2.88300000000000E-1
MomentI11   3.61100000000000E-1
MomentI22   2.22111100000000E-1
MomentJ      3.43870000000000E-3
SectionType  Null
NonLinType   Elasticplastic
Hardening    Isotropic

```

```

BeamProp      19 "Trave C- FS3"
MaterialName  "Steel - Modified"
Modulus       2.00000000000000E+5
ShearMod      8.00000000000000E+4
Poisson       2.50000000000000E-1
UsePoisson    TRUE
Expansion     1.15000000000000E-5
ThermalCond  5.10000000000000E+1
SpecificHeat  5.00000000000000E+2
Area          2.98100000000000E-1
MomentI11    4.01400000000000E-1
MomentI22    2.22131100000000E-1
MomentJ       3.42049000000000E-3
SectionType  Null
NonLinType   Elasticplastic
Hardening    Isotropic

```

/

/ FREQUENCY-PERIOD TABLES

```

PeriodTbl      1 "SLV_H q=1"
0.00000000000000E+0  2.44269000000000E+0
1.50000000000000E-1  6.13125000000000E+0
4.51000000000000E-1  6.13125000000000E+0
5.38000000000000E-1  5.13063000000000E+0
6.26000000000000E-1  4.41450000000000E+0
7.14000000000000E-1  3.87495000000000E+0
8.01000000000000E-1  3.44331000000000E+0
8.89000000000000E-1  3.10977000000000E+0
9.76000000000000E-1  2.82528000000000E+0
1.06400000000000E+0  2.59965000000000E+0
1.15200000000000E+0  2.40345000000000E+0
1.23900000000000E+0  2.22687000000000E+0
1.32700000000000E+0  2.07972000000000E+0
1.41500000000000E+0  1.95219000000000E+0
1.50200000000000E+0  1.83447000000000E+0
1.59000000000000E+0  1.73637000000000E+0
1.67700000000000E+0  1.64808000000000E+0
1.76500000000000E+0  1.56960000000000E+0
1.85300000000000E+0  1.49112000000000E+0
1.94000000000000E+0  1.42245000000000E+0
2.02800000000000E+0  1.36359000000000E+0
2.11600000000000E+0  1.30473000000000E+0
2.20300000000000E+0  1.25568000000000E+0
2.29100000000000E+0  1.20663000000000E+0
2.37200000000000E+0  1.12815000000000E+0
2.45400000000000E+0  1.04967000000000E+0
2.53500000000000E+0  9.81000000000000E-1
2.61600000000000E+0  9.22140000000000E-1
2.69800000000000E+0  8.73090000000000E-1
2.77900000000000E+0  8.24040000000000E-1
2.86100000000000E+0  7.74990000000000E-1
2.94200000000000E+0  7.35750000000000E-1
3.02300000000000E+0  6.96510000000000E-1
3.10500000000000E+0  6.57270000000000E-1
3.18600000000000E+0  6.27840000000000E-1
3.26700000000000E+0  5.88600000000000E-1
3.34900000000000E+0  5.68980000000000E-1
3.43000000000000E+0  5.39550000000000E-1
3.51200000000000E+0  5.10120000000000E-1
3.59300000000000E+0  4.90500000000000E-1
3.67400000000000E+0  4.70880000000000E-1
3.75600000000000E+0  4.51260000000000E-1
3.83700000000000E+0  4.31640000000000E-1
3.91900000000000E+0  4.12020000000000E-1
4.00000000000000E+0  3.92400000000000E-1

```

```

PeriodTbl      2 "SLV_V q=1"
0.00000000000000E+0  9.51570000000000E-1
5.00000000000000E-2  2.38383000000000E+0
1.50000000000000E-1  2.38383000000000E+0
2.35000000000000E-1  1.52055000000000E+0
3.20000000000000E-1  1.11834000000000E+0
4.05000000000000E-1  8.82900000000000E-1
4.90000000000000E-1  7.35750000000000E-1
5.75000000000000E-1  6.27840000000000E-1
6.60000000000000E-1  5.39550000000000E-1
7.45000000000000E-1  4.80690000000000E-1
8.30000000000000E-1  4.31640000000000E-1
9.15000000000000E-1  3.92400000000000E-1
1.00000000000000E+0  3.62970000000000E-1
1.09400000000000E+0  3.04110000000000E-1
1.18800000000000E+0  2.55060000000000E-1
1.28100000000000E+0  2.15820000000000E-1
1.37500000000000E+0  1.86390000000000E-1
1.46900000000000E+0  1.66770000000000E-1
1.56300000000000E+0  1.47150000000000E-1
1.65600000000000E+0  1.27530000000000E-1
1.75000000000000E+0  1.17720000000000E-1
1.84400000000000E+0  1.07910000000000E-1
1.93800000000000E+0  9.81000000000000E-2
2.03100000000000E+0  8.82900000000000E-2
2.12500000000000E+0  7.84800000000000E-2
2.21900000000000E+0  6.86700000000000E-2
2.31300000000000E+0  6.86700000000000E-2
2.40600000000000E+0  5.88600000000000E-2
2.50000000000000E+0  5.88600000000000E-2
2.59400000000000E+0  4.90500000000000E-2
2.68800000000000E+0  4.90500000000000E-2

```


2.78100000000000E+0	4.90500000000000E-2
2.87500000000000E+0	3.92400000000000E-2
2.96900000000000E+0	3.92400000000000E-2
3.06300000000000E+0	3.92400000000000E-2
3.15600000000000E+0	3.92400000000000E-2
3.25000000000000E+0	2.94300000000000E-2
3.34400000000000E+0	2.94300000000000E-2
3.43800000000000E+0	2.94300000000000E-2
3.53100000000000E+0	2.94300000000000E-2
3.62500000000000E+0	2.94300000000000E-2
3.71900000000000E+0	2.94300000000000E-2
3.81300000000000E+0	2.94300000000000E-2
3.90600000000000E+0	1.96200000000000E-2
4.00000000000000E+0	1.96200000000000E-2

/

/ SPECTRAL RESPONSE SOLVER DATA

SpectralDirectionVector "SLV_X"			
1	1.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0
SpectralDirectionVector "SLV_Y"			
1	0.00000000000000E+0	1.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0
SpectralDirectionVector "SLV_Z"			
2	0.00000000000000E+0	0.00000000000000E+0	1.00000000000000E+0