

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA AV/AC VERONA - PADOVA**

**SUB TRATTA VERONA – VICENZA**

**1° SUB LOTTO VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

VI PONTI E VIADOTTI

VI00 GENERALE IMPALCATI: IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA-ARCO

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. A STRUTTURA METALLICA

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR S.p.A.	SCALA:
<b>ATI bonifica</b> Progettista integratore	Consorzio IRICAV DUE Il Direttore		-
Franco Persio Bocchetto Dottore in Ingegneria Civile iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n° 8664 – Sez. A settore Civile ed Ambientale			

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

I	N	O	D	00	D	I	2	CL	V	I	0	0	0	7	0	0	3	B
---	---	---	---	----	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

<b>ATI bonifica</b>	Firma	Data
	Ing.F.P. Bocchetto	Luglio 2015

Programmazione

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	EMISSIONE	A. Arena	Maggio 2015	G. Nizzi	Maggio 2015	F.P. Bocchetto	Maggio 2015	F. Momoni Luglio 2015
B	REVISIONE ISTRUTTORIA ITALFERR	A. Arena	Luglio 2015	G. Nizzi	Luglio 2015	F.P. Bocchetto	Luglio 2015	

File: IN0D00DI2CLVI0007003B_00A.DOCX	CUP.: J41E91000000009 CIG: 3320049F17	n. Elab.:
--------------------------------------	--	-----------

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	5
1.1	Descrizione del ponte.....	6
1.2	Considerazioni di progetto.....	7
1.3	Verifica tiranti.....	8
2	NORMATIVE .....	9
3	MATERIALI.....	10
4	ANALISI DEI CARICHI .....	11
4.1	Permanenti Strutturali.....	11
4.2	Permanenti Portati.....	11
4.3	Ritiro e Viscosità del calcestruzzo.....	13
4.4	Vento .....	14
4.5	Temperatura.....	16
4.6	Azione sismica .....	17
4.7	Azione da traffico – Carichi verticali .....	21
4.8	Azione da traffico – Carichi orizzontali .....	25
4.8.1	Centrifuga .....	25
4.8.2	Avviamento / Frenatura.....	26
4.8.3	Serpeggio.....	27
4.9	Azione da traffico – Carichi eccezionali .....	28
5	COMBINAZIONE DELLE AZIONI .....	30
5.1	Gruppi di carico .....	30
5.2	Combinazioni.....	31
6	MODELLO DI CALCOLO .....	33
6.1	Modello EF .....	34
6.2	Sezioni elementi monodimensionali.....	37
6.2.1	Trave principale .....	37
6.2.2	Trasverso impalcato.....	38
6.2.3	Longherina .....	39
6.2.4	Arco.....	40
6.2.5	Trasverso Arco.....	42
6.2.6	Controvento Arco .....	43
6.2.7	Pendino.....	43

6.3	Viste modello – Sezioni .....	44
6.4	Convenzione dei segni .....	46
7	ANALISI DINAMICA .....	48
7.1	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA SECONDO DM2008 .....	48
7.1.1	REQUISITI SULLA FREQUENZA FLESSIONALE .....	49
7.2	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA REALE .....	49
7.2.1	IPOTESI DI MODELLAZIONE .....	49
7.2.2	ANALISI MODALE .....	50
7.2.2.1	FORME MODALI .....	53
7.2.3	ANALISI DINAMICA .....	57
7.2.3.1	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL MODELLO .....	58
7.2.3.1.1	MODO FLESSIONALE .....	58
7.2.3.1.2	MODO TORSIONALE .....	58
7.2.3.2	RISULTATI, MODELLO DI CARICO HSLM .....	59
7.2.3.2.1	ANALISI MOTO FLESSIONALE .....	59
7.2.3.2.2	ANALISI MOTO TORSIONALE .....	61
7.2.3.3	RISULTATI, MODELLO DI CARICO TRENO REALE (TR) .....	64
7.2.3.3.1	ANALISI MOTO FLESSIONALE .....	64
7.2.3.3.2	ANALISI MOTO TORSIONALE .....	67
7.2.3.4	CONSIDERAZIONI FINALI .....	69
7.3	VERIFICHE DI CUI AL PT. 1.4.2.6 .....	70
8	ANALISI DI STABILITA' GLOBALE .....	72
8.1	Condizione di carico .....	72
8.2	Analisi di buckling .....	72
8.2.1	Combinazione a) .....	74
8.2.2	Combinazione b) .....	75
8.2.3	Combinazione c) .....	76
8.3	VERIFICA DI SICUREZZA .....	77
9	Verifiche SLU .....	78
9.1	Stato di Sollecitazione .....	78
9.1.1	Pesi propri strutturali e permanenti portati .....	78
9.1.2	Inviluppo Azioni da Traffico: .....	80
9.1.3	Sisma in direzione trasversale .....	81
9.2	Travi .....	83
9.3	Arco .....	86
9.4	Pendini .....	89
9.5	Trasversi .....	92

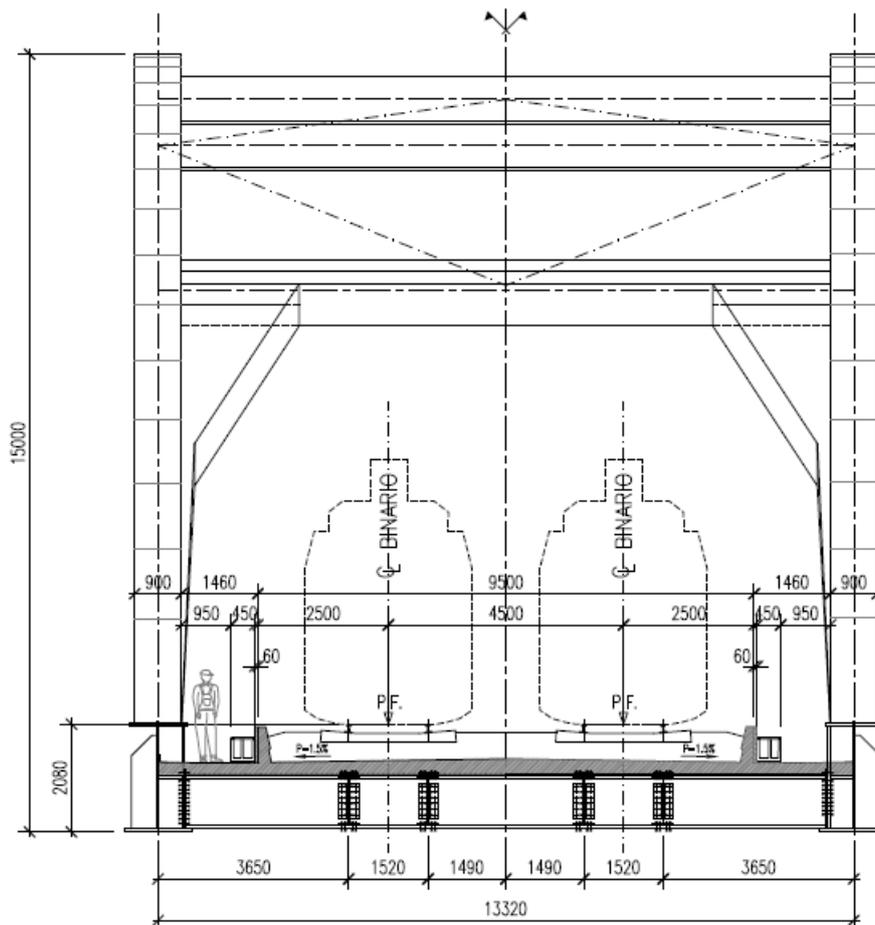
9.6	Longherine .....	96
10	ROTTURA DI 3 PENDINI .....	99
11	Verifiche SLE .....	106
11.1	Verifiche deformative .....	106
11.1.1	Accelerazioni verticali sull'impalcato.....	106
11.1.1.1	Deformazioni torsionali sull'impalcato.....	106
11.1.1.2	Inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato.....	107
11.1.1.3	Inflessione nel piano verticale dell'impalcato.....	107
11.1.1.4	Stato limite di comfort dei passeggeri.....	109
12	VERIFICHE A FATICA.....	110
12.1	Pendino.....	111
12.2	Anima trave – ancoraggio pendino .....	113
12.3	Trasverso .....	114
12.4	Trave principale .....	116
12.5	Arco.....	118
13	Verifiche locali piastrone .....	120
13.1	SLU-Svio.....	120

## 1 INTRODUZIONE

La campata speciale del viadotto sull'Alpone ha una lunghezza di 62.8 m ed una luce di 60 m di luce asse appoggi. E' costituita da un ponte a via inferiore con arco a spinta eliminata. Le strutture sono interamente realizzate con profilati in acciaio tipo S 355 W.

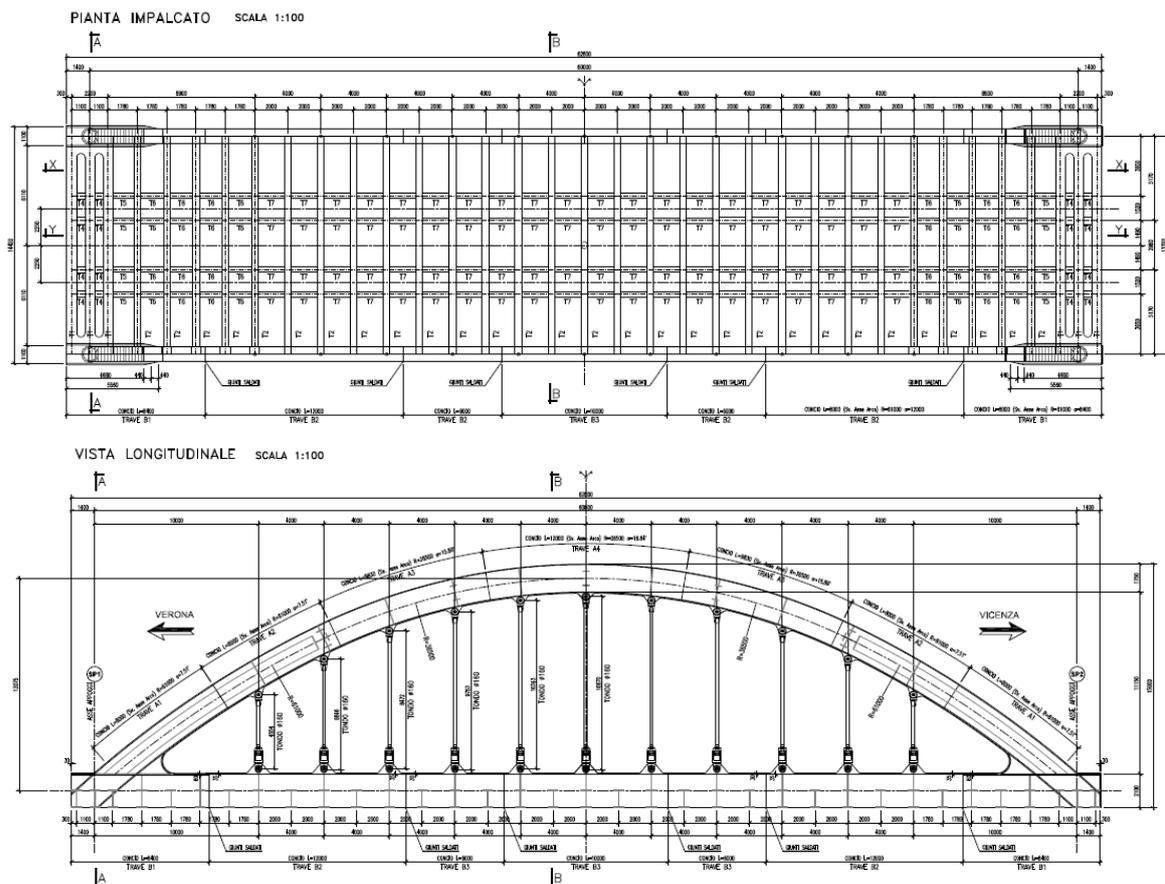
Gli archi, realizzati con un profilo saldato a doppio T (h=1.9 m), sono caratterizzati da un rapporto freccia luce  $f/l = 15.00/60 = 0.25$  (intradosso briglia – estradosso arco).

La sezione trasversale, rappresentata in figura, prevede l'alloggiamento di due binari ad interasse 4.5 m. In corrispondenza delle rotaie sono disposte due coppie di longherine che corrono lungo tutta la luce e che, insieme ai trasversi e a una piastra dello spessore di 32 mm, costituiscono l'impalcato.



I trasversi hanno un interasse corrente di 2 m, mentre il passo dei pendini è doppio e pari a 4 m. In prossimità degli appoggi l'interasse trasversi si riduce a 1.78 m, mentre in testata sono disposti 3 trasversi a 1.1 m.

Si riportano di seguito pianta e prospetto del ponte.



## 1.1 Descrizione del ponte

La tipologia strutturale adottata è quella di trave Langer (o arco a spinta eliminata) a via inferiore e pareti controventate superiormente. Il ponte è costituito da 1 campata in semplice appoggio di luce fra gli assi appoggi, è di 60 m, mentre l'interasse fra le pareti è di 13,32 m. Su ciascuna parete l'arco è collegato alla trave principale attraverso 11 pendini a passo 4 m.

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>7</b> di 122

La travata viene dimensionata con i sovraccarichi relativi a due binari per ponti di categoria A e per le azioni sismiche.

L'arco é costituito da una sezione a doppio T di altezza 1,750 m, con piattabanda superiore 900 x 40 mm, piattabanda inferiore 900 x 40 mm ed anima 40 mm; l'altezza in chiave è di 15,00 m.

Le travi sono realizzate con una sezione a doppio T di altezza 2,10 m, con piattabanda superiore 900 x 40 mm, piattabanda inferiore 900 x 40 mm ed anima 40 mm.

Il piano di sostegno all'armamento ferroviario è realizzato con un impalcato a traversi in acciaio con sezione a doppio T simmetrica di altezza 1,050m. piattabanda 600x30 mm e anima 20mm, longherine con sezione a doppio T simmetrica di altezza 0,974 m piattabanda 360x 20 mm e anima da 15 mm, una lamiera da 32mm ed una soletta portaballast in cls di spessore minimo pari a 10 cm (l'estradosso è sagomato per assecondare le pendenze trasversali del 1,5%); l'estradosso della soletta prevede un manto di impermeabilizzazione con sovrastante massetto di protezione. I muretti di contenimento della massicciata e la soletta stessa presentano fori  $\phi$  160 per lo scolo delle acque.

L'arco è interamente realizzato in officina in conci che verranno saldati tra loro a piena penetrazione in cantiere e collegati al concio di incastro arco-trave.

L'arco é collegato alla trave impalcato tramite barrotti in acciaio speciale di diametro nominale  $\phi$  160 mm.

Ogni strallo é collegato mediante perni all'arco attraverso un capocorda fisso ed all'impalcato attraverso un capocorda regolabile che permette di ottenere i corretti valori di tesatura.

## 1.2 Considerazioni di progetto

Lo schema statico globale è di ponte ad arco a spinta eliminata.

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>8</b> di 122

La struttura è stata analizzata con un modello tridimensionale dell'arco-trave con l'impalcato costituito da traversi e longherine e la lamiera da 35 mm, costituente il piano di controventamento in direzione orizzontale; è stata schematizzata anche la presenza dei controventi e dei traversi superiori. I carichi sono stati applicati al modello relativamente a ciascuna condizione di carico.

La verifica di resistenza dell'arco è stata condotta con le sollecitazioni così ottenute, mentre per la verifica di stabilità si è proceduto come illustrato al capitolo 8.

Per gli indici di deformabilità si provvede a controllare che le frecce indotte dai carichi mobili siano contenute entro i limiti prescritti.

### 1.3 Verifica tiranti

Per motivi di sicurezza si prevede la possibilità che verifichi la rottura di tre tiranti per effetto del deragliamento di un treno. Viene quindi effettuata la verifica di resistenza e stabilità delle strutture principali e secondarie di impalcato per effetto del deragliamento (configurazione statica di impalcato senza tre pendini) con la condizione di traffico ferroviario pesante nella combinazione di carico prevista dalla normativa ferroviaria vigente (si veda capitolo 10).

Si verifica che i tiranti rimanenti siano idonei a sostenere la redistribuzione dei carichi, come pure le travi principali a sostenere gli effetti locali conseguenti, utilizzando i coefficienti previsti per la condizione eccezionale.

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>9 di 122</b>

## 2 NORMATIVE

Di seguito si riportano le normative adottate per i criteri di progettazione e verifica:

- a) NTC 2008;
- b) RFI - Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- c) RFI - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari;
- d) EC3 - UNI EN 1993-1-1:2005

### 3 MATERIALI

La struttura è interamente realizzata con lamiere e profilati in acciaio tipo S 355 W. Le caratteristiche dei materiali sono quelle previste dalla normativa NTC 2008. I pendini sono invece realizzati con acciaio tipo S 460 N/NL.

Densità	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
Modulo elastico	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Coeff. di Poisson	$\nu = 0.3$
Coeff. di espansione termica	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$

Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_{yk} \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$f_{tk} \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$f_{yk} \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$f_{tk} \text{ [N/mm}^2\text{]}$
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>11 di 122</b>

## 4 ANALISI DEI CARICHI

Di seguito si riporta l'analisi dei carichi presi in considerazione per la struttura in esame.

### 4.1 Permanenti Strutturali

La valutazione dei carichi permanenti strutturali in acciaio è condotta mediante l'ausilio del software di calcolo impostando come densità del materiale  $\rho = 7850+10\% \text{ kg/m}^3$ , in modo da poter tenere in conto sommariamente anche il peso aggiuntivo dovuto alla presenza dei giunti, fazzoletti, bulloni.

L'effetto di tali carichi sarà indicato nel seguito con  $G_s$ .

### 4.2 Permanenti Portati

Come mostrato in Fig. 1, la sezione trasversale del ponte prevede l'alloggiamento di due binari ad interasse 4.5 m con armamento su ballast (si considera una densità maggiorata poiché il tracciato è in curva). Si prevede anche la realizzazione di una soletta in calcestruzzo con relativi elementi paraballast. Nei corridoi laterali si dispone una canaletta passacavi. I relativi carichi sono riportati nella tabella seguente:

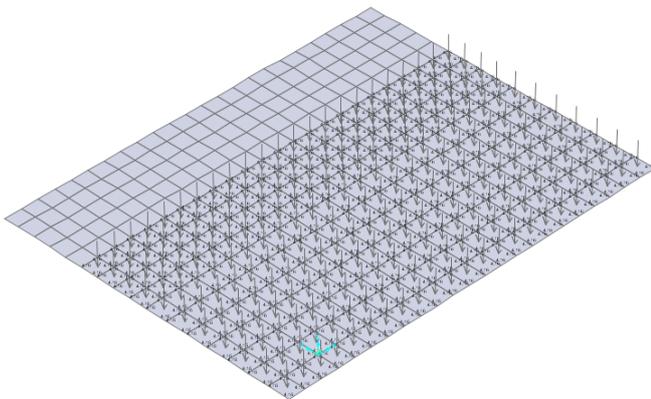
	kN/m
Ballast	144.32
Soletta (+5cm massetto)	38.52
Soletta laterale	6.26
paraballast	3.35
Canaletta (+ cavi)	3.00
<b>Totale</b>	<b>195.45</b>

L'effetto di tali carichi sarà indicato nel seguito con  $G_p$ . Questi saranno applicati al modello come carichi sulla piastra in acciaio, poiché la soletta in calcestruzzo è considerata esclusivamente come un peso.

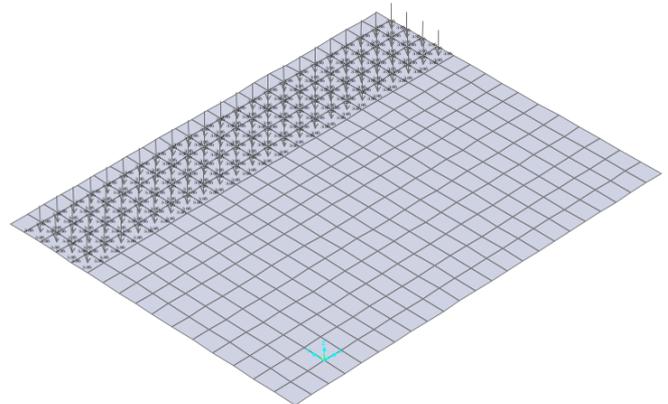
Di seguito si mostra l'applicazione dei carichi permanenti non strutturali sul modello. Si illustra soltanto una porzione di piastra in corrispondenza della mezzeria dell'impalcato.

**Soletta in calcestruzzo**

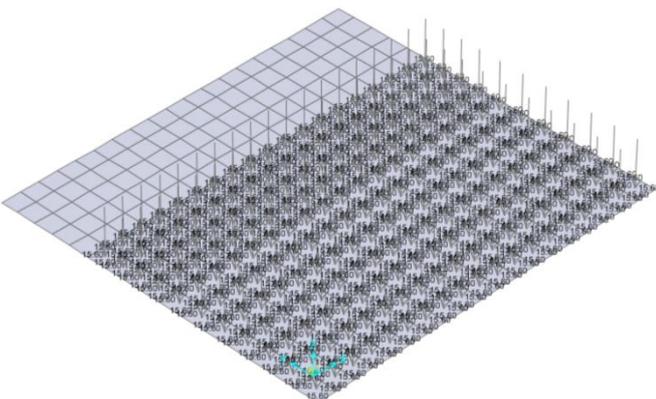
centrale



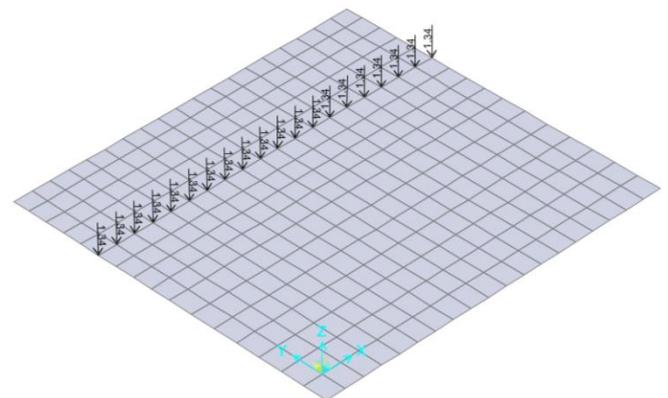
esterna



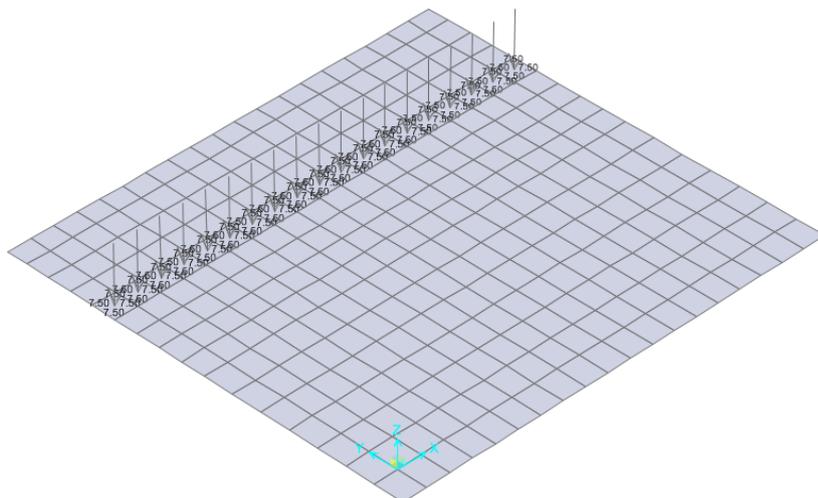
Ballast



Paraballast



**Canaletta porta cavi**



**4.3 Ritiro e Viscosità del calcestruzzo**

Essendo disposti sulla soletta dei giunti trasversali di fessurazione si trascurano completamente gli effetti del ritiro; inoltre non trattandosi di struttura mista (la soletta ha la sola funzione di portaballast) non vengono presi in conto effetti di viscosità

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>14 di 122</b>

#### 4.4 Vento

L'azione del vento sulla struttura è valutata secondo quanto previsto in NTC 2008.

Zona	1		Tab. 3.3.I
as	53	m	
vb0	25	m/s	
a0	1000	m	
ks	0.01	1/s	
vb	25	as<a0	Par. 3.3.1
qb	390.625	N/m2	Par. 3.3.4
Cl. Rugosità	D		Tab. 3.3.III
Cat. Expo	II		Fig. 3.3.2
kr	0.19		Tab. 3.3.II
z0	0.05	m	
zmin	4	m	
z	8	m	
ct	1		
ce	2.21		(3.3.5)
cp	1		3.3.4
cd	1		3.3.8
p	864.19	N/m2	(3.3.2)
	0.86	kN/m2	

La pressione del vento risulta quindi pari a  $p = 0.86 \text{ kN/m}^2$ . Tale valore risulta inferiore al limite previsto dalla specifica RFI, per cui in favore di sicurezza, si considera il valore:

$$p = 2.5 \text{ kN/m}^2$$

Parte di questa azione agisce direttamente sulla struttura, mentre l'effetto dovuto alla presenza del treno sull'impalcato (per una altezza di 4 m dal piano ferro) si esplica come carico distribuito ed un effetto torcente. Questo effetto torcente viene applicato come coppia di forze verticali sulle longherine.

Htr	2.1	m	altezza trave
Harco	1.75	m	altezza arco
Htreno	4	m	altezza libera treno
br	2.99	m	braccio tra piano piastrone e baricentro forza del vento
Carichi distribuiti			
ft	5.23	kN/m	sulle travi
fa	4.36	kN/m	sull'arco
fp	9.99	kN/m	sulla piastra
Mlt	29.85	kN/m	effetto tira/spingi sulle longherine

Si considera inoltre la componente verticale del vento agente in direzione Z. Questa azione è trattata come una pressione uniforme agente sul piastrone, ma poiché la risultante è eccentrica rispetto all'impalcato si considera anche l'effetto torcente associato che viene applicato al modello come coppia di forze verticali sulle travi principali.

### Vento Z

b	13.32	m	
dtot	2.2	m	par. 8.3.3 pag. 91
b/dtot	6.05		
cfz	0.6		par. 8.3.3 pag. 91
Fz	0.52	kN/m <sup>2</sup>	pressione uniforme sulla piastra
e	3.33	m	eccentricità
Mz	23.00	kNm/m	momento torcente
pztr	1.73	kN/m	tira/spingi travi

Nel seguito l'azione del vento sarà indicata con V.

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>16 di 122</b>

## 4.5 Temperatura

Gli effetti termici sono suddivisi in una variazione uniforme di temperatura agente su tutti gli elementi strutturali ed una gradiente termico.

### - **Variazione di temperatura uniforme**

Il valore di delta termico è:

$$\Delta T = \pm 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (}\pm 30^\circ\text{C per gli apparecchi appoggio)}$$

### - **Gradiente termico**

Secondo quanto prescritto dalla normativa vigente si considera anche un gradiente termico agente tra estradosso e intradosso dell'impalcato pari a  $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

In questo caso si introduce una variazione di temperatura uniforme agente esclusivamente nella piastra di acciaio.

Tali effetti sono indicati con  $T_{unif}$  e  $T_{grad}$ , rispettivamente. L'effetto globale della temperatura sarà invece indicato genericamente con  $T$ .

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007003B Pag. 17 di 122	

#### 4.6 Azione sismica

Per l'individuazione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento alla relazione sismica IN0D00DI2RH00000001A. Lo spettro di risposta è stato calcolato per il sito con le seguenti coordinate.

ID	Progressive di riferimento	Latitudine	Longitudine	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLP, 2009)
9	12+000	45.395935	11.152433	

Per il calcolo dello spettro di progetto si è utilizzato il foglio di calcolo Spettri-NTCver. 1.03, messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (<http://www.cslp.it>). I valori di input sono riportati di seguito.

Caratteristica	Notazione NTC 2008	Unità	Valore	NTC 2008
Stato Limite	SL		<b>SLV</b>	§ 3.2.1
Vita Nominale dell'Opera	$V_N$	(anni)	100	§ 2.4.1
Classe d'Uso dell'Opera			<i>III</i>	§ 2.4.2
Coefficiente di Classe d'Uso	$C_U$		1.5	§ 2.4.3
Periodo di Riferimento	$V_R$	(anni)	150	§ 2.4.3
Probabilità di eccedenza in $V_R$	$P_{VR}$	(%)	10%	Tab. 3.2.I
Tempo di ritorno	$T_R$	(anni)	1424	(C3.2.1)
Accelerazione massima al sito	$a_g/g$	(g)	0.219	Allegato B
Fattore massimo di amplificazione spettrale orizzontale	$F_0$		2.435	Allegato B

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO

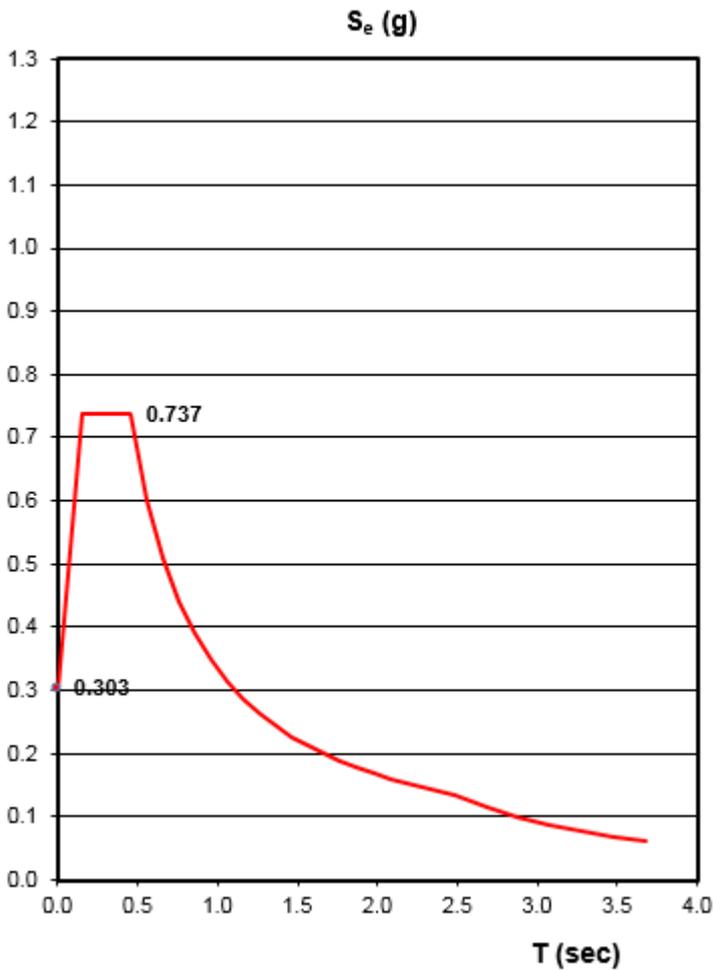
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.  
IN0D00DI2CLVI0007003B

Pag.  
18 di 122

Periodo inizio tratto a velocità orizzontale costante	$T_C^*$	(sec)	0.284	Allegato B
Smorzamento	$\xi$	(%)	5	(3.2.6)
Coefficiente di smorzamento	$\eta$		1.00	(3.2.6)
Coefficiente inizio tratto a velocità orizzontale costante	$C_C$		1.591	Tab. 3.2.V
Profilo geologico			C	§ 3.2.2
Coefficiente di topografia	$S_T$		1.00	Tab. 3.2.VI
Coefficiente stratigrafico	$S_S$		1.380	Tab. 3.2.V
Coefficiente di amplificazione al sito	S		1.380	(3.2.5)
Periodo inizio tratto ad accelerazione orizzontale costante	$T_B$	(sec)	0.151	(3.2.8)
Periodo inizio tratto a velocità orizzontale costante	$T_C$	(sec)	0.452	(3.2.7)
Periodo inizio tratto a spostamento orizzontale costante	$T_D$	(sec)	2.476	(3.2.9)
Coefficiente di amplificazione verticale	$S_v$		1.000	§ 3.2.3.2.2
Fattore massimo di amplificazione spettrale verticale	$F_v$		1.538	(3.2.11)
Periodo inizio tratto ad accelerazione verticale costante	$T_B$	(sec)	0.050	Tab. 3.2.VII
Periodo inizio tratto a velocità verticale costante	$T_C$	(sec)	0.150	Tab. 3.2.VII
Periodo inizio tratto a spostamento verticale costante	$T_D$	(sec)	1.000	Tab. 3.2.VII

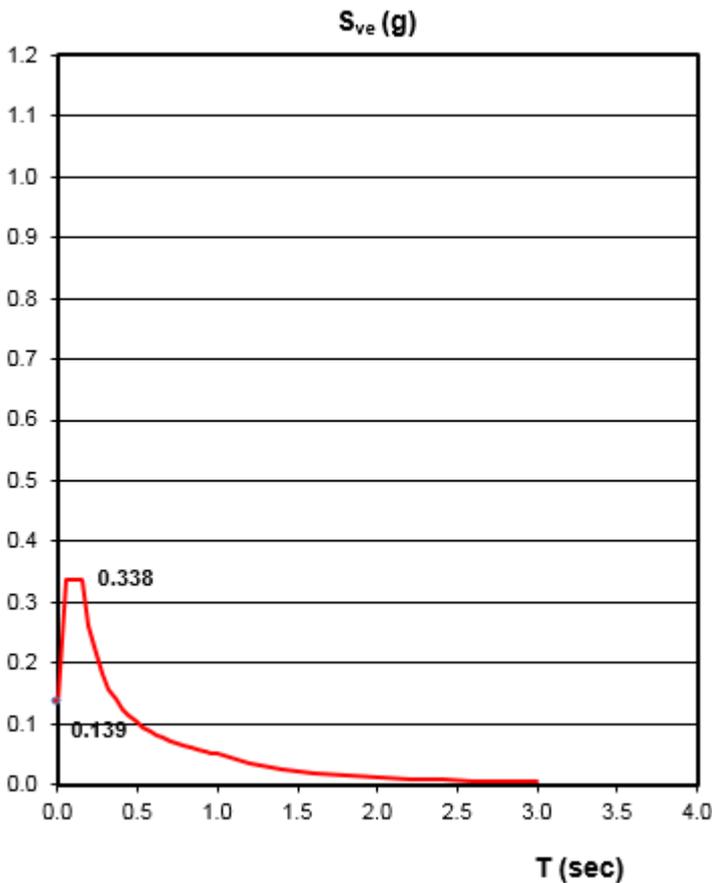
Gli spettri elastici per la direzione orizzontale e verticale sono mostrati nelle figure sottostanti.

**Spettro di risposta elastico orizzontale**



T	$S_e$
<b>0.000</b>	<b>0.302</b>
<b>0.151</b>	0.736
<b>0.452</b>	<b>0.736</b>
0.553	0.601
0.654	0.508
0.755	0.440
0.857	0.388
0.958	0.347
1.059	0.314
1.160	0.287
1.261	0.264
1.363	0.244
1.464	0.227
1.565	0.212
1.666	0.200
1.768	0.188
1.869	0.178
1.970	0.169
2.071	0.161
2.172	0.153
2.274	0.146
2.375	0.140
<b>2.476</b>	<b>0.134</b>
2.676	0.115
2.876	0.100
3.076	0.087
3.276	0.077
3.476	0.068
3.676	0.061

**Spettro di risposta elastico verticale**

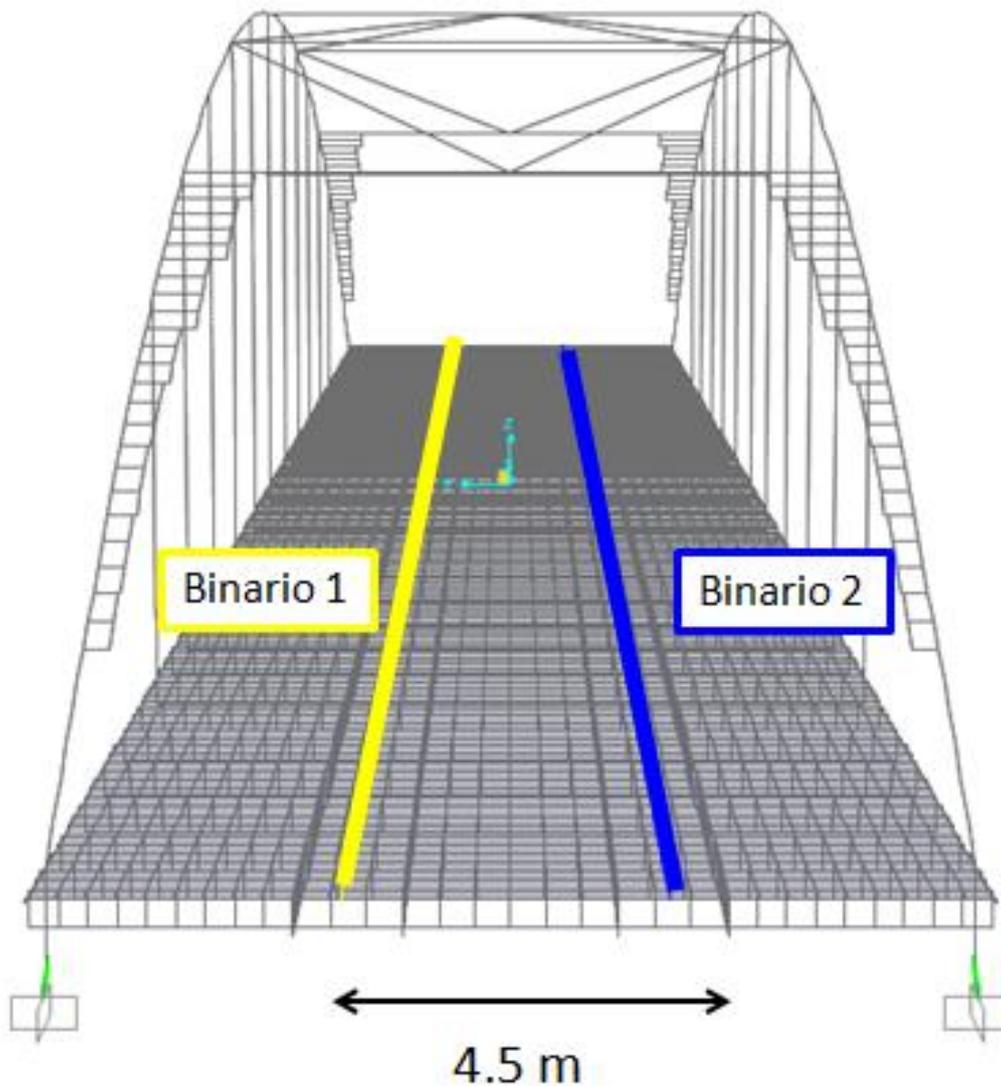


T [s]	Se [g]
0.000	<b>0.139</b>
0.050	<b>0.338</b>
0.150	0.338
0.235	0.216
0.320	0.158
0.405	0.125
0.490	0.103
0.575	0.088
0.660	0.077
0.745	0.068
0.830	0.061
0.915	0.055
1.000	0.051
1.094	0.042
1.188	0.036
1.281	0.031
1.375	0.027
1.469	0.023
1.563	0.021
1.656	0.018
1.750	0.017
1.844	0.015
1.938	0.014
2.031	0.012
2.125	0.011
2.219	0.010
2.313	0.009
2.406	0.009
2.500	0.008
2.594	0.008
2.688	0.007
2.781	0.007
2.875	0.006
2.969	0.006
3.063	0.005
3.156	0.005
3.250	0.005
3.344	0.005
3.438	0.004
3.531	0.004
3.625	0.004
3.719	0.004
3.813	0.003
3.906	0.003
4.000	0.003

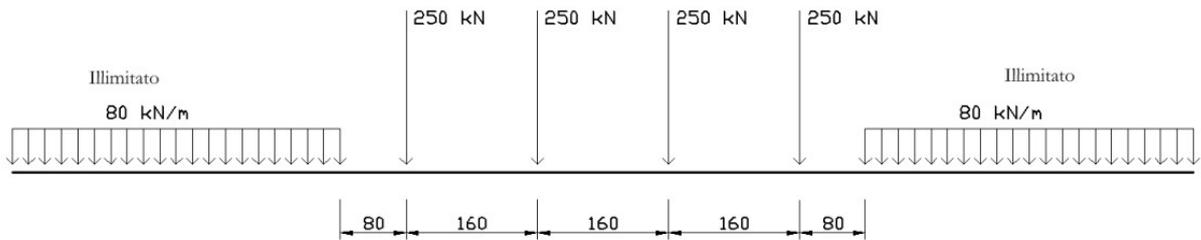
#### 4.7 Azione da traffico – Carichi verticali

L'azione da traffico ferroviario è valutata applicando quanto prescritto dalla specifica RFI. Trattandosi di ponte a campata unica, i modelli di carico considerati per le azioni verticali sono i modelli LM71 e SW/2.

L'azione dei convogli sarà applicata al modello in corrispondenza dei due binari che attraversano il ponte e sono di seguito rappresentati.



**Treno di carico tipo LM71**



$Q_{vk} = 250 \text{ kN} \quad q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$

Il modello di carico LM71 è rappresentato nella figura soprastante. I valori caratteristici dei carichi devono essere incrementati del coefficiente  $\alpha = 1.1$ . Deve anche essere applicato il coefficiente di incremento dinamico  $\Phi_2$ , che, sendo assunto per la linea ferroviaria in esame un elevato standard di manutenzione, secondo la formula:

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\phi - 0,2}} + 0,82$$

Per gli effetti globali, in accordo con la tabella 1.4.2.5.3-1, trattandosi di ponte ad arco si adotta

$$L_\phi = L/2 = 30 \text{ m}$$

per cui il coefficiente di incremento dinamico assume il valore  $\Phi_2=1.09$ . Di seguito si riportano i valori dei coefficienti di incremento dinamico per le verifiche longitudinali, trasversali e dei pendini, ulteriori dettagli sulla loro valutazione sono forniti nel capitolo “Analisi dinamica”.

Per linee con elevato standard manutentivo $\Phi = \Phi_2$			
	$\Phi_2$	$L_\phi$ [m]	
Verifiche longitudinali	1.09	30	semi luce ponte
Verifiche trasversali	1.62	4	2 x interasse trasversi
Verifiche pendino	1.20	16	4 x interasse pendini

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>23</b> di 122

Per questo modello di carico è prevista anche una eccentricità rispetto all'asse del binario, che risulta essere la somma di tre effetti:

#### **Eccentricità Accidentale - LM71**

s	1435	mm	
	18		
e1	79.72	mm	+/-

#### **Eccentricità da sovrizzo**

vmax	250	km/h	
Rmin	3200	m	
hsop	132.69	mm	
h1	1800	mm	punto di applicazione del carico del convoglio
alfa	0.09	rad	5.28 deg
e2	165.73	mm	verso l'interno curva

#### **Eccentricità da tracciato**

L	63		
e3	155.04	mm	verso esterno curva

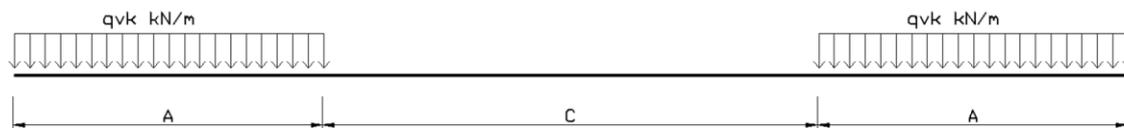
#### **Massima eccentricità verso esterno**

69.03 mm

#### **Massima eccentricità verso interno**

-90.42 mm

### Treno di carico tipo SW/2



Il modello di carico SW/2 è rappresentato nella figura soprastante. I valori caratteristici del modello sono di seguito riportati

$$q_{vk} = 150 \text{ kN/m}$$

$$A = 25 \text{ m}$$

$$C = 7 \text{ m}$$

Il valore  $q_{vk}$  deve essere incrementato del coefficiente  $\alpha = 1.0$ . Deve anche essere applicato il coefficiente di incremento dinamico  $\Phi_2$ , precedentemente descritto.

### TRENO SCARICO

Al fine di massimizzare gli effetti torcenti e dell'azione laterale sull'impalcato si considera anche il modello di treno scarico che prevede semplicemente il passaggio di una stesa di carico illimitata pari a 10 kN/m.

### MARCIAPIEDI

La sezione trasversale dell'impalcato è provvista di due passaggi laterali, il cui utilizzo è destinato al solo transito di mezzi autorizzati. Questa azione è schematizzata con un carico uniformemente ripartito da 10 kN/m, non concomitante con il passaggio dei convogli.

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>25</b> di 122

#### 4.8 Azione da traffico – Carichi orizzontali

Il passaggio dei convogli sull'impalcato genera degli effetti anche nel piano orizzontale. Questi sono determinati dalle azioni di frenatura dei treni e dalla forza centrifuga conseguente all'andamento non rettilineo del tracciato. Si considera inoltre l'effetto dovuto al serpeggio.

##### 4.8.1 Centrifuga

Il valore di questo effetto dipende dalla geometri del tracciato e dalla velocità di percorrenza della linea. Tali valori sono riportati nella tabella seguente:

Rmin	3200 m	
Vmax	300 km/h	(LM71)
Vmax	100 km/h	(SW/2)
l	63 m	

Da questi valori è possibile definire il fattore di riduzione  $f$  secondo la relazione:

$$f = \left[ 1 - \frac{V-120}{1000} \left( \frac{814}{V} + 1,75 \right) \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{2,88}{L_r}} \right) \right]$$

E di conseguenza i carichi della forza centrifuga sono dati dalla relazione

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot Q_{vk})$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot q_{vk})$$

Per la struttura in esame il fattore di riduzione assume il valore:

$$f = 0.37 \quad \text{per il convoglio LM71}$$

$$f = 1 \quad \text{per il convoglio SW/2}$$

L'azione centrifuga così determinata viene applicata all'impalcato come un carico uniforme  $q_{tk}$ . Inoltre, poiché la forza centrifuga si considera applicata a quota  $h=1.8$  m dal piano ferro, ad essa si associa anche un momento torcente per unità di lunghezza  $m_k$ , applicato come una coppia equivalente di forze distribuite sulle longherine.

  <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>26</b> di 122

LM71	
qtk	mk
kN/m	kNm/m
7.16	19.96

SW/2	
qtk	mk
kN/m	kNm/m
2.46	6.86

Questi carichi sono considerati concomitanti con il relativo convoglio, ma non sono amplificati né di  $\alpha$  né di  $\Phi_2$ .

#### 4.8.2 Avviamento / Frenatura

Gli effetti di avviamento e frenatura sono di seguito riportate:

##### Avviamento

l      63      m  
 Q    2079    kN <1000 1000 kN **LM71, SW/2**

##### Frenatura

1260    kN <6000 1500 kN    **LM71**  
 2205    kN            2205 kN    **SW/2**

Tali azioni sono applicate alla quota del piano ferro pertanto trasmettono all'impalcato non solo un carico distribuito ma anche un momento. Questi sono applicati ai nodi della piastra d'acciaio in corrispondenza dei binari.

I valori caratteristici di queste azioni orizzontali sono incrementati del relativo coefficiente  $\alpha$ .

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>27</b> di 122

#### 4.8.3 Serpeggio

L'azione di serpeggio consiste in una forza nel piano orizzontale, ortogonale all'asse del binario di intensità pari a 100 kN. Anche questa azione agisce al piano ferro per cui il suo effetto si considera distribuito a 45° al piano della piastra e vi si associa anche un momento torcente. Questa torsione viene applicata come effetto tira/spingi sulle longherine.

fh	17.42	kN/m	carico distribuito
peq	34.84	kN/m	effetto tira/spingi

I valori caratteristici di questa azione orizzontale è incrementata del relativo coefficiente  $\alpha$ .

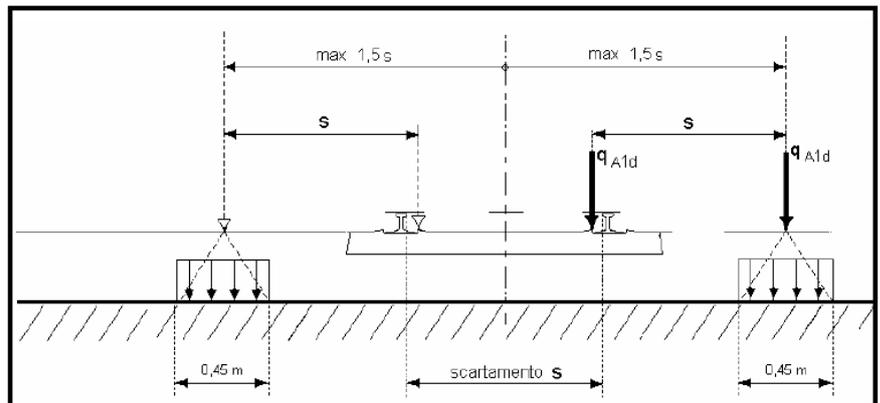
#### 4.9 Azione da traffico – Carichi eccezionali

Si considera come azione eccezionale la possibilità di deragliamento del locomotore (o carro pesante) al di sopra dell'impalcato. Si esaminano i due casi seguenti separatamente.

##### Caso 1

$q_{A1d}$             60 kN/m  
 $l_{eff}$              6.4 m  
 $l_{trasv}$           0.65 m

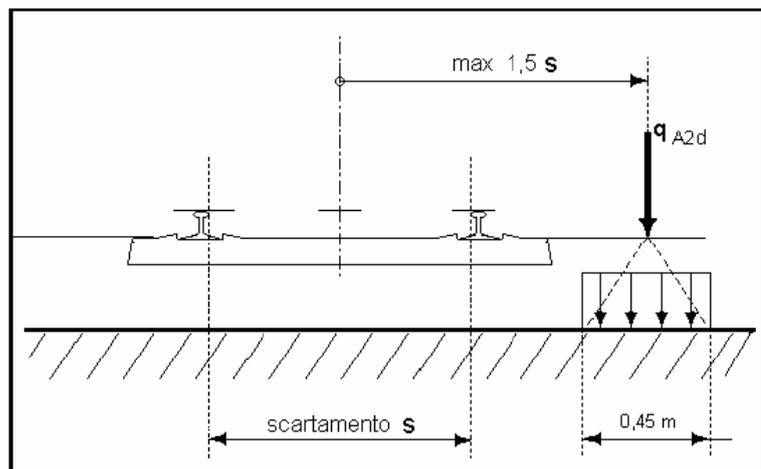
Pressione equivalente  
 $p$                 92.31 kN/m<sup>2</sup>



##### Caso 2

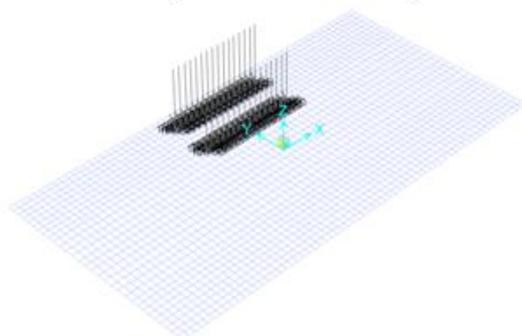
$q_{A2d}$             112 kN/m  
 $l_{eff}$              20 m  
 $l_{trasv}$           0.65 m

Pressione equivalente  
 $p_{eq}$             172.31 kN/m<sup>2</sup>

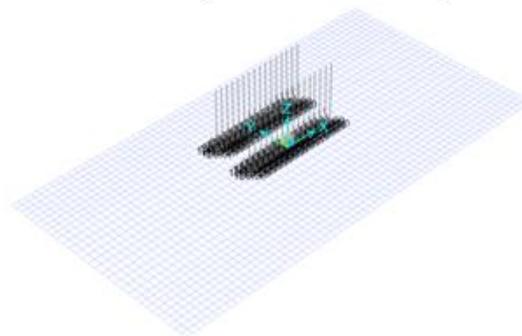


Di seguito si illustra la modalità di applicazione dei carichi di svio sul modello. Sono stati assegnati come carichi superficiali di piastra.

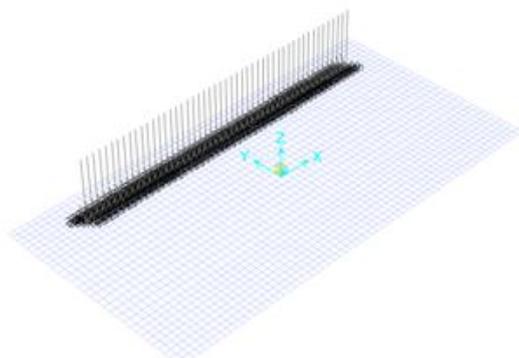
Caso 1 - svio esterno



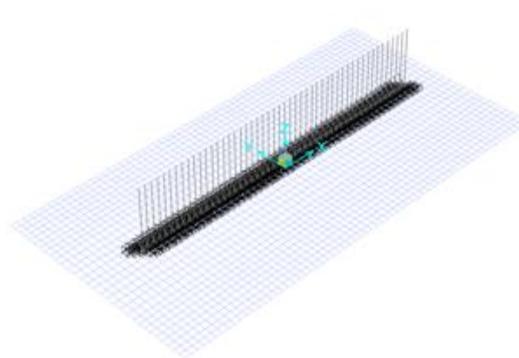
Caso 1 - svio interno



Caso 2 - svio esterno



Caso 2 - svio interno



## 5 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Le azioni considerate sono di seguito riassunte:

Carichi permanenti	$G = G_s + G_p$
Temperatura	T
Vento	V
Sisma	E(Ex, Ey, Ez)
Carico verticale LM71	LM71
Carico verticale SW/2	SW/2
Treno scarico	Ts
Marciapiedi	Mp
Centrifuga LM71	$C_{71}$
Centrifuga SW/2	$C_{SW}$
Avviamento	Avv
Frenatura LM71	$F_{71}$
Frenatura SW/2	$F_{SW}$
Serpeggio	Serp
Carichi eccezionali	Svio

### 5.1 Gruppi di carico

L'azione da traffico deve considerare la concomitanza delle diverse tipologie di convoglio ed effetti associati, a tal fine si introducono i seguenti gruppi di carico:

		LM71	SW/2	Ts	Mr	$C_{71}$	$C_{SW}$	Avv	$F_{71}$	$F_{SW}$	Serp
Gr1	Gr11		binario 1				binario 1			binario 1	binario 1
	Gr12	binario 1				binario 1			binario 1		binario 1
	Gr13	binario 2	binario 1			binario 2	binario 1	binario 2		binario 1	binario 1,2
	Gr14	binario 1,2				binario 1,2		binario 2	binario 1		binario 1,2
	Gr15				binario 1,2						
Gr2	Gr2			binario 1		binario 1					binario 1
Gr3	Gr31		binario 1				binario 1			binario 1	binario 1

	<b>Gr32</b>	binario 1				binario 1			binario 1		binario 1
	<b>Gr33</b>	binario 2	binario 1			binario 2	binario 1	binario 2		binario 1	binario 1,2
	<b>Gr34</b>	binario 1,2				binario 1,2		binario 2	binario 1		binario 1,2
	<b>Gr35</b>				binario 1,2						

Le singole azioni dei gruppi Gr1, Gr2 e Gr3, sono combinate all'interno dei sottogruppi secondo i coefficienti della tabella sottostante

Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Gruppo di carico	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	
<b>Gruppo 1 (2)</b>	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
<b>Gruppo 2 (2)</b>	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
<b>Gruppo 3 (2)</b>	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
<b>Gruppo 4</b>	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante  
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi ( $\Phi, \alpha$ , ecc.)  
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

L'effetto globale dei gruppi così definiti sarà indicato come **Traff-Inv.**

## 5.2 Combinazioni

### Combinazioni allo stato limite ultime SLU

	G	Traff-Inv	T	V	Ex	Ey	Ez	Svio
SLU-TRAFF	1.35	1.45	0.9	0.9	0	0	0	0
SLU-TEMP	1.35	1.16	1.5	0.9	0	0	0	0
SLU-VENTO	1.35	0	0.9	1.5	0	0	0	0
SLU-Sx	1	0.2	0.5	0	1	0.3	0.3	0
SLU-Sy	1	0.2	0.5	0	0.3	1	0.3	0
SLU-Sz	1	0.2	0.5	0	0.3	0.3	1	0
SLU-Svio	1	0	0.5	0	0	0	0	1

**Combinazioni allo stato limite di esercizio**

	G	Traff-Inv	T	V
SLE-CAR-1	1	1	0.6	0.6
SLE-CAR-2	1	0.8	1	0.6
SLE-CAR-3	1	0	0.6	1

**Combinazioni allo stato limite di fatica**

Lo stato limite di fatica è valutato attraverso il metodo dei coefficienti  $\lambda$ , per cui le sollecitazioni sono derivate direttamente dall'effetto del passaggio del modello di carico LM71 incrementato di  $\alpha$  e  $\Phi_2$ , considerando le sole azioni verticali.

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>33</b> di 122

## 6 MODELLO DI CALCOLO

La struttura è risolta mediante metodo di calcolo automatico attraverso l'impiego del software Sap2000.

La struttura è stata studiata mediante un modello tridimensionale dell'impalcato e delle due pareti arco-trave; le principali caratteristiche del modello sono le seguenti:

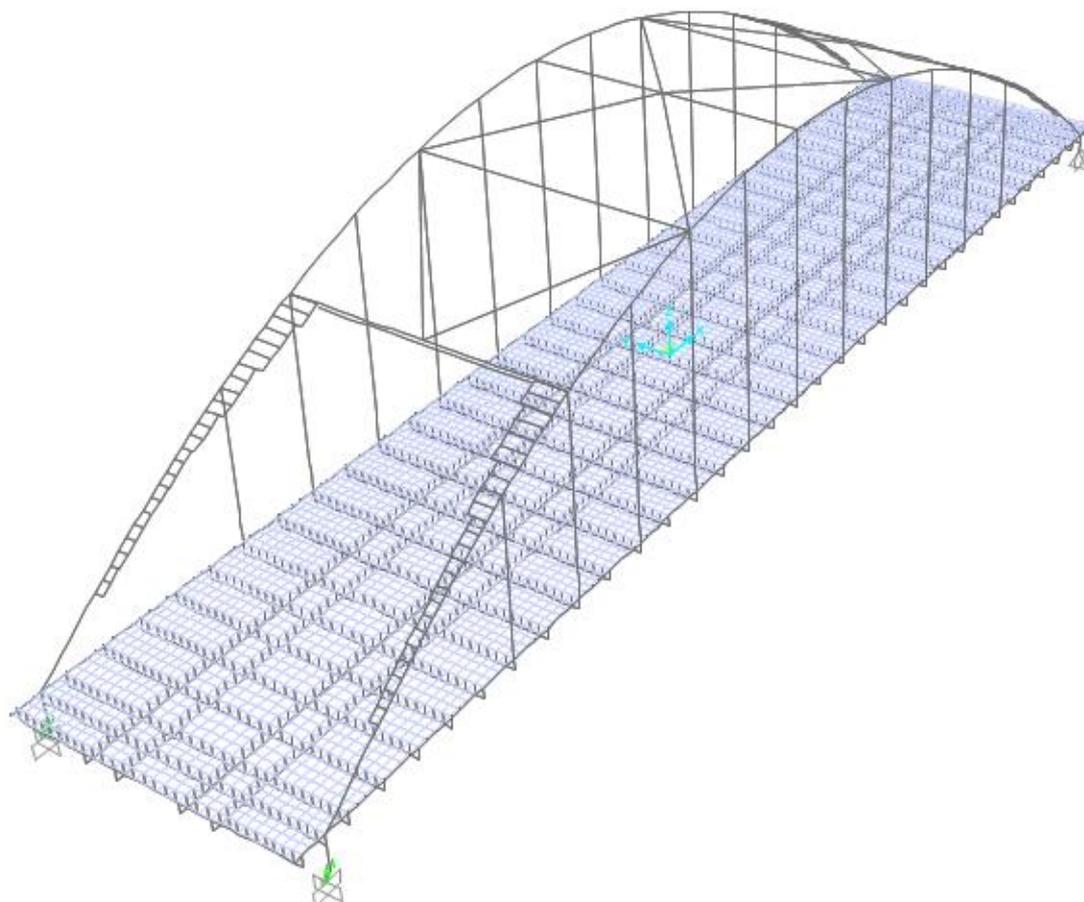
- due fili longitudinali posizionati nei baricentri delle travi catena;
- due fili longitudinali collocati nel baricentro reale degli archi;
- una serie di bracci infinitamente rigidi collega gli unifilari delle travi-catena al baricentro dei traversi d'impalcato e al punto di attacco dei pendini; analogamente gli unifilari dell'arco sono collegato all'attacco dei pendini da bracci rigidi
- quattro bracci infinitamente rigidi collegano l'impalcato ai vincoli in corrispondenza delle zone di appoggio;
- i pendini sono vincolati superiormente ed inferiormente ai bracci rigidi che li collegano al baricentro dell'arco e della trave. Nei punti d'attacco i pendini sono liberi di ruotare (cerniera sferica)
- i trasversi sono collegati alla trave catena con l'effettivo schema di vincolo sull'impalcato (ossia incastro in corrispondenza degli irrigidenti, cerniera altrove);
- le longherine sono vincolate con continuità ai traversi nel punto baricentrico, simulando così la situazione reale;
- gli shells che rappresentano la lamiera di copertura sono connessi agli assi baricentrici dei trasversi e delle longherine (in realtà sono bullonati all'estradosso di tali elementi); **gli elementi shell non vengono utilizzati nei modelli relativi al calcolo delle sollecitazioni sugli archi e sulle catene, e svolgono la sola funzione di controventamento orizzontale.**
- i traversi superiori sono vincolati nel punto baricentrico dell'arco, simulando così la situazione reale;
- i controventi superiori sono connessi al punto baricentrico dell'arco, simulando così la situazione reale. La rigidezza nel piano orizzontale fornita dal portale di testa viene affidata agli elementi frame che rappresentano l'arco nella zona di attacco arco-trave;

tali elementi sono quindi dotati nel piano verticale di inerzia pari a quella dell'arco stesso e nel piano orizzontale di inerzia pari a quella delle menbrature costituenti il portale.

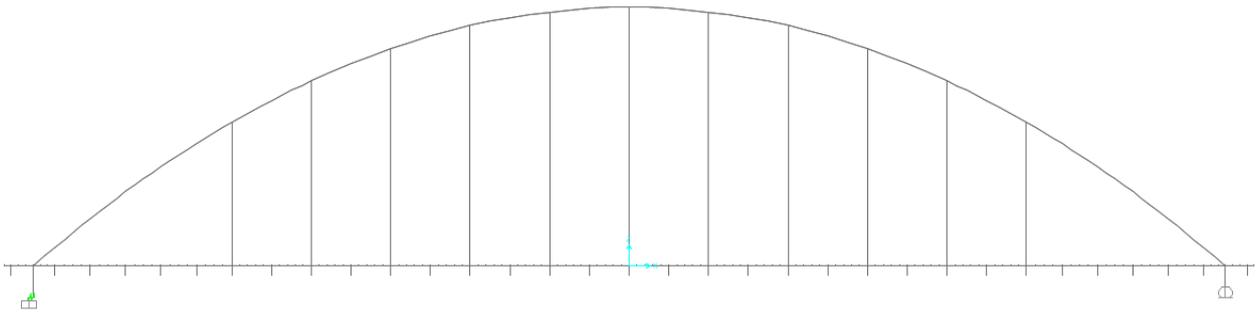
I pesi propri della struttura sono stati applicati come carichi distribuiti direttamente a ciascuno degli elementi strutturali, mentre i pesi permanenti portati ed i sovraccarichi accidentali sono stati applicati rispettivamente ai traversi ed alle longherine.

## 6.1 Modello EF

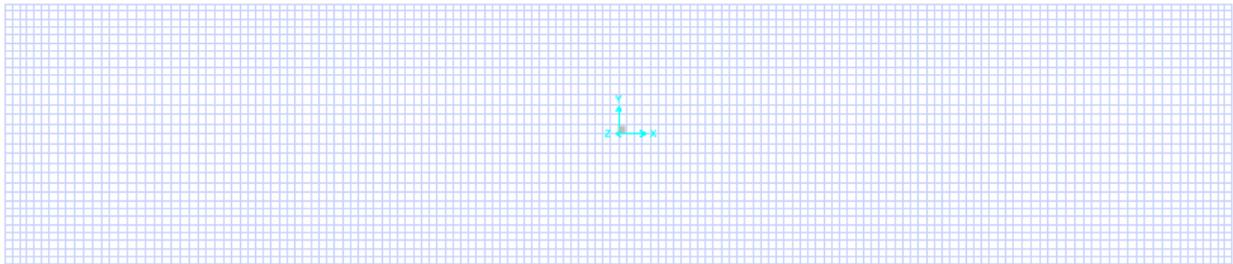
Vista 3D



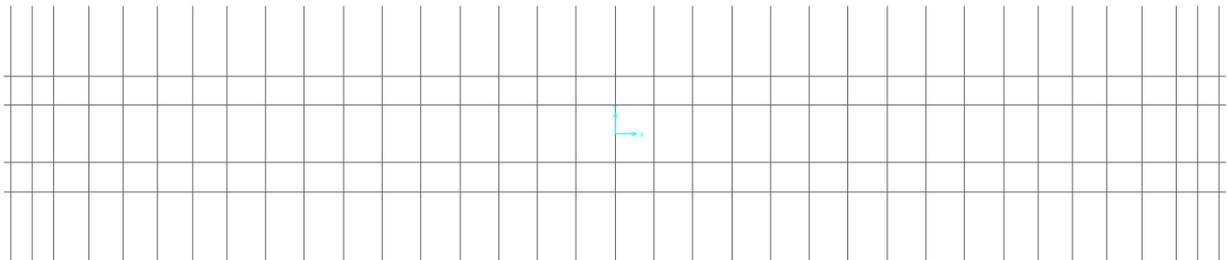
Vista Arco



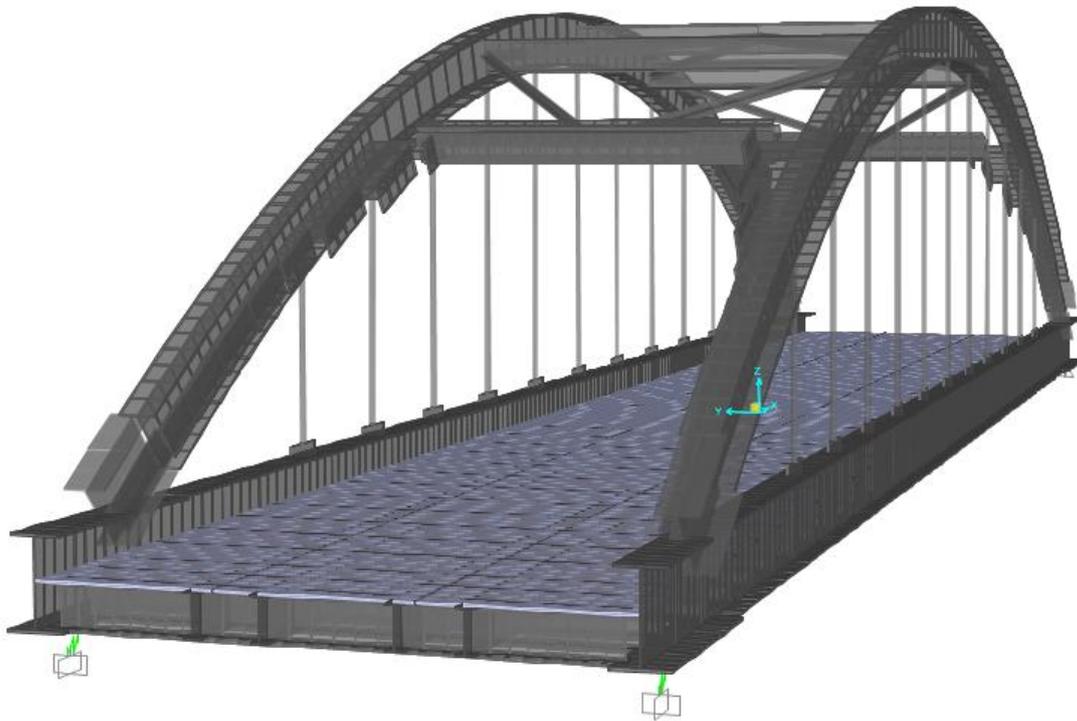
Vista Piastra



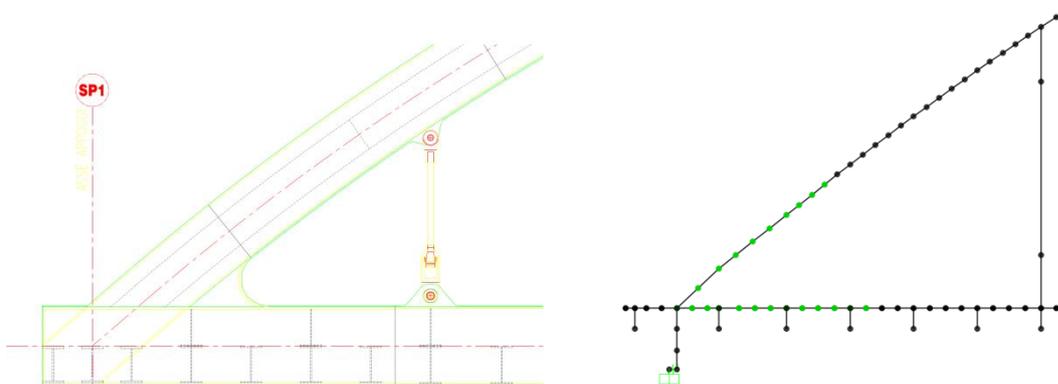
Vista graticcio trasversi-longherine



Vista estrusa



Nel modello sono anche stati introdotti dei vincoli tipo diaframma per poter considerare in modo appropriato il grado di vincolo esistente nell'intersezione arco-trave. Tale schematizzazione permette di rendere solidali gli spostamenti nel piano verticale dei punti appartenenti al nodo. Nella figura seguente i punti indicati in verde rappresentano i nodi a cui è stato associato il vincolo di diaframma.



## 6.2 Sezioni elementi monodimensionali

Di seguito si riportano le sezioni adottate per gli elementi monodimensionali (dimensioni in m).

### 6.2.1 Trave principale

#### Trave 1

Dimensions	
Outside height ( t3 )	2.1
Top flange width ( t2 )	1.1
Top flange thickness ( tf )	0.06
Web thickness ( tw )	0.04
Bottom flange width ( t2b )	1.3
Bottom flange thickness ( tfb )	0.06

#### Trave 2

Dimensions	
Outside height ( t3 )	2.1
Top flange width ( t2 )	0.9
Top flange thickness ( tf )	0.035
Web thickness ( tw )	0.04
Bottom flange width ( t2b )	0.9
Bottom flange thickness ( tfb )	0.035

**Trave 3**

Dimensions	
Outside height ( t3 )	<input type="text" value="2.1"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0.9"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0.03"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0.04"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0.9"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0.03"/>

**6.2.2 Trasverso impalcato**

**Trasverso 1**

Dimensions	
Outside height ( t3 )	<input type="text" value="1.03"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0.6"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0.04"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0.04"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0.6"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0.04"/>

**Trasverso 2**

Dimensions		Section
Outside height ( t3 )	<input type="text" value="1.05"/>	
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0.6"/>	
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0.03"/>	
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0.02"/>	
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0.6"/>	
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0.03"/>	

**6.2.3 Longherina**

**Longherina 1**

Dimensions	Value	Section
Outside height ( t3 )	0.99	
Top flange width ( t2 )	0.4	
Top flange thickness ( tf )	0.03	
Web thickness ( tw )	0.02	
Bottom flange width ( t2b )	0.4	
Bottom flange thickness ( tfb )	0.03	

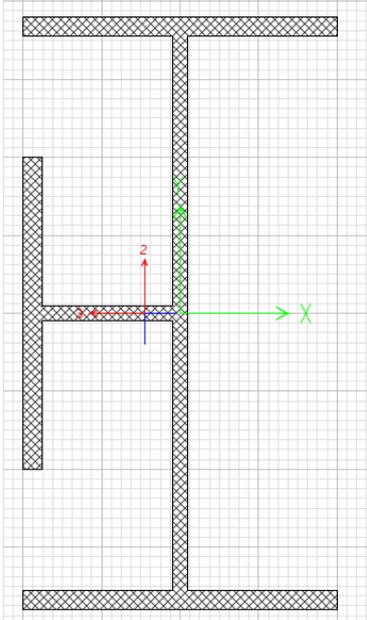
**Longherina 2**

Dimensions	Value	Section
Outside height ( t3 )	0.974	
Top flange width ( t2 )	0.36	
Top flange thickness ( tf )	0.02	
Web thickness ( tw )	0.015	
Bottom flange width ( t2b )	0.36	
Bottom flange thickness ( tfb )	0.02	

Display Color

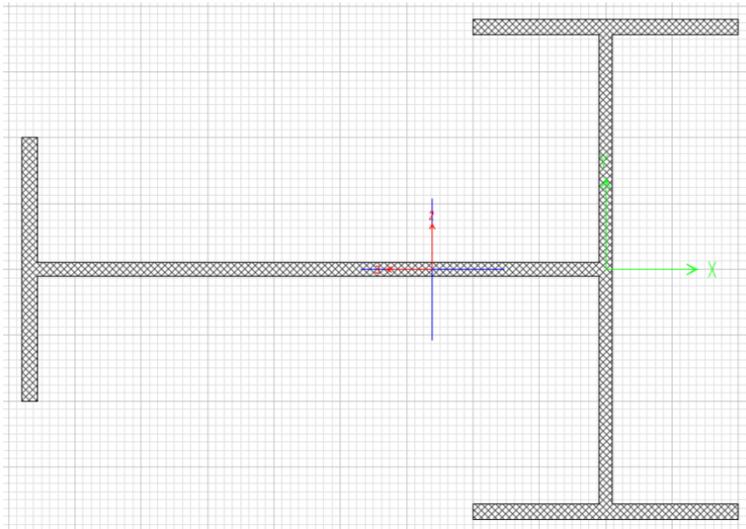
**6.2.4 Arco**

**Arco 1**



Xcg	-0.114
Ycg	0.
Axis Angle	90
A	0.2898
J	3.115E-04
I33	0.1301
I22	0.0209
I23	0.
AS2	0.1487
AS3	0.1399
S33(+face)	0.137
S33(-face)	0.137
S22(+face)	0.0543
S22(-face)	0.0341
Z33	0.1653
Z22	0.0633
r33	0.6701
r22	0.2689
d33pna	0.
d22pna	-0.0927

**Arco 2**



Xcg	-0.6529
Ycg	0.
Axis Angle	90
A	0.3748
J	3.834E-04
I33	0.1301
I22	0.2962
I23	0.
AS2	0.1494
AS3	0.1437
S33(+face)	0.137
S33(-face)	0.137
S22(+face)	0.1914
S22(-face)	0.2569
Z33	0.1663
Z22	0.2655
r33	0.5893
r22	0.889
d33pna	0.
d22pna	-0.4198

### Arco 3

Dimensions	
Outside height ( t3 )	<input type="text" value="1.75"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0.9"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0.04"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0.04"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0.9"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0.04"/>

Display Color ■

### Arco 4

Dimensions	
Outside height ( t3 )	<input type="text" value="1.75"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0.9"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0.035"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0.04"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0.9"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0.035"/>

Display Color ■

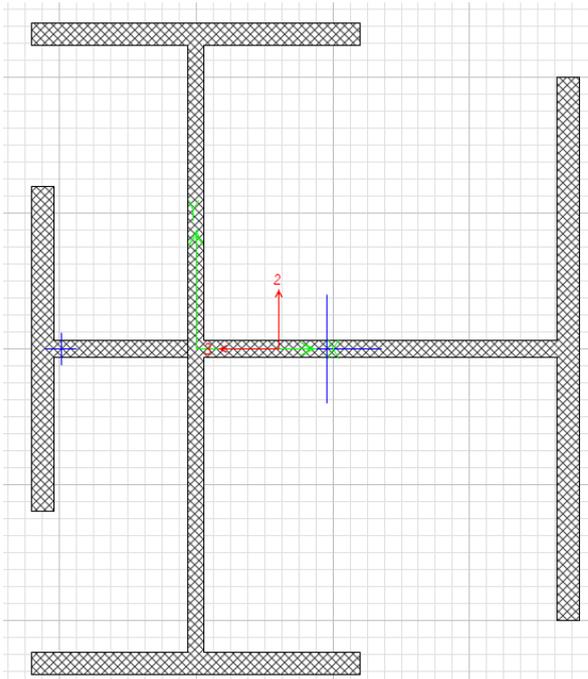
### Arco 5

Dimensions	
Outside height ( t3 )	<input type="text" value="1.75"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="0.9"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="0.03"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="0.04"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="0.9"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="0.03"/>

Display Color ■

**6.2.5 Trasverso Arco**

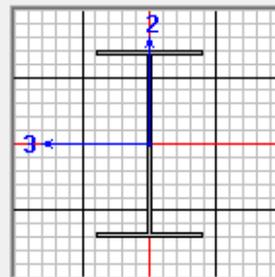
**Trasverso Arco 1**



Xcg	0.1509
Ycg	0.
Axis Angle 90 >>	
A	0.1723
J	7.876E-05
I33	0.0237
I22	0.021
I23	0.
AS2	0.1005
AS3	0.0501
S33(+face)	0.0395
S33(-face)	0.0395
S22(+face)	0.0465
S22(-face)	0.0382
Z33	0.051
Z22	0.0487
r33	0.371
r22	0.3487
d33pna	0.
d22pna	0.1392

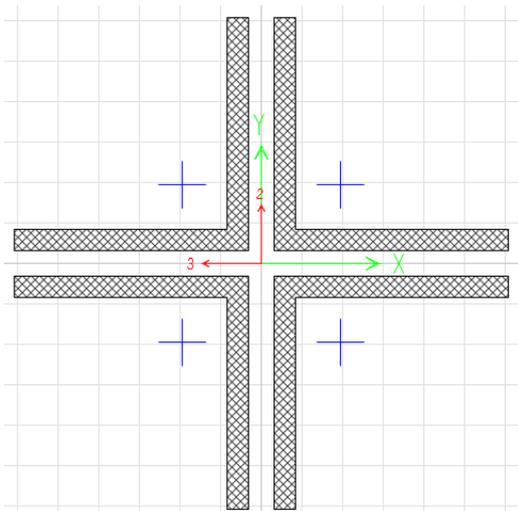
**Trasverso Arco 2**

Dimensions	
Outside height ( t3 )	0.9
Top flange width ( t2 )	0.5
Top flange thickness ( tf )	0.02
Web thickness ( tw )	0.015
Bottom flange width ( t2b )	0.5
Bottom flange thickness ( tfb )	0.02



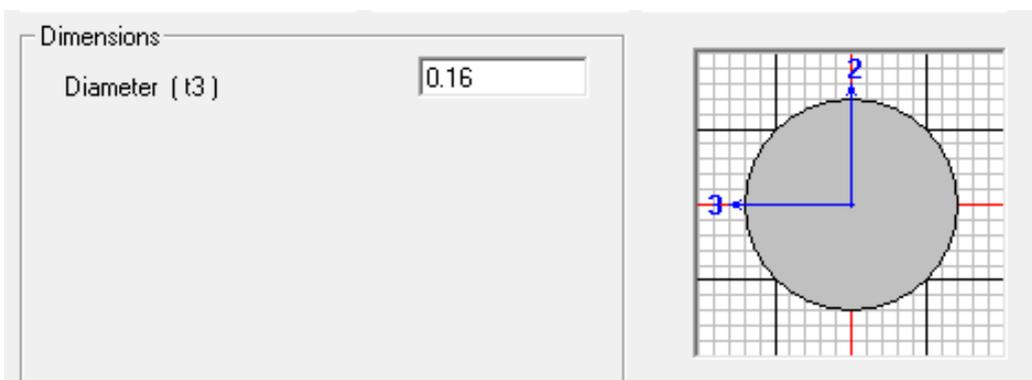
Display Color

## 6.2.6 Controvento Arco



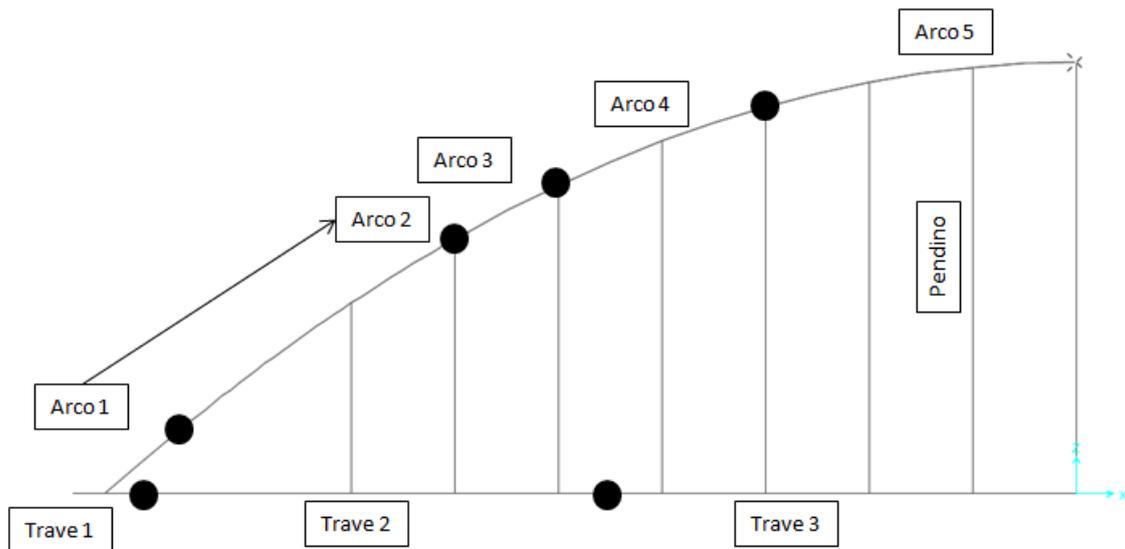
Xcg	0.
Ycg	0.
Axis Angle	90
A	0.022
J	1.856E-06
I33	1.499E-04
I22	1.499E-04
I23	0.
AS2	0.014
AS3	0.014
S33(+face)	7.891E-04
S33(-face)	7.891E-04
S22(+face)	7.891E-04
S22(-face)	7.891E-04
Z33	1.341E-03
Z22	1.341E-03
r33	0.0825
r22	0.0825
d33pna	0.
d22pna	0.

## 6.2.7 Pendino

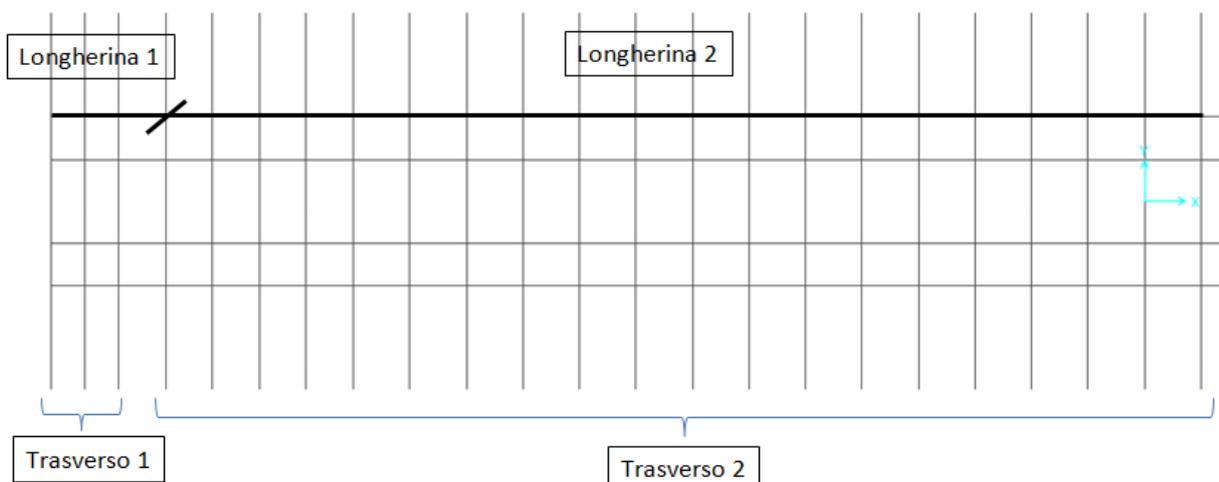


### 6.3 Viste modello – Sezioni

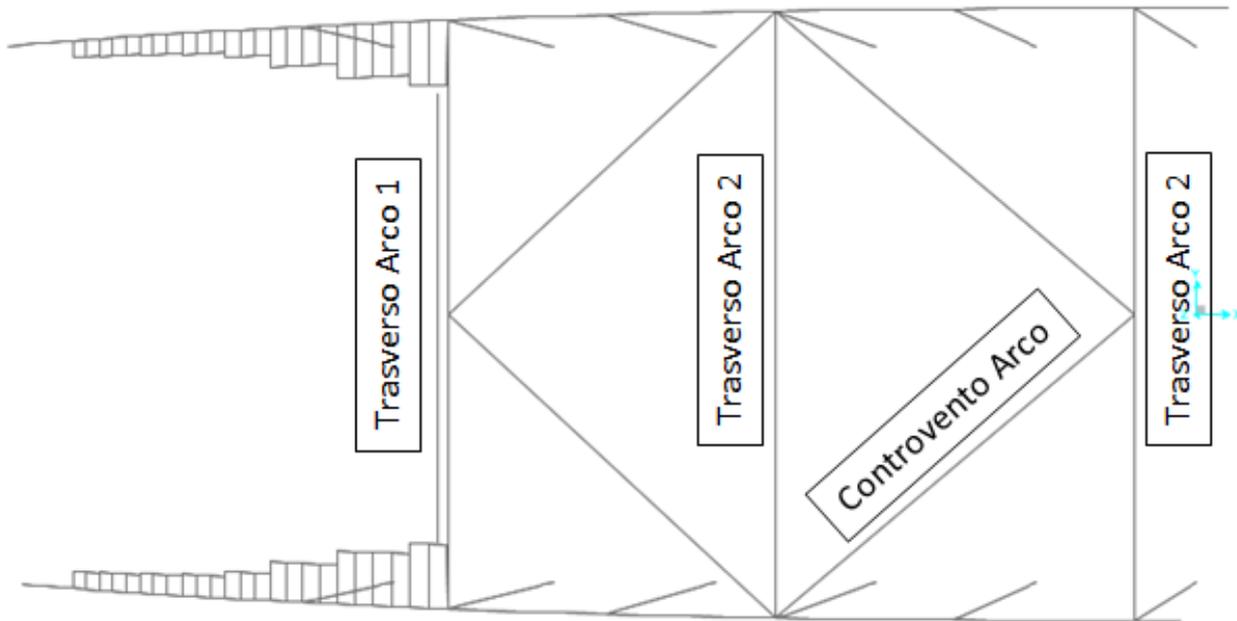
Prospetto arco



Pianta graticcio

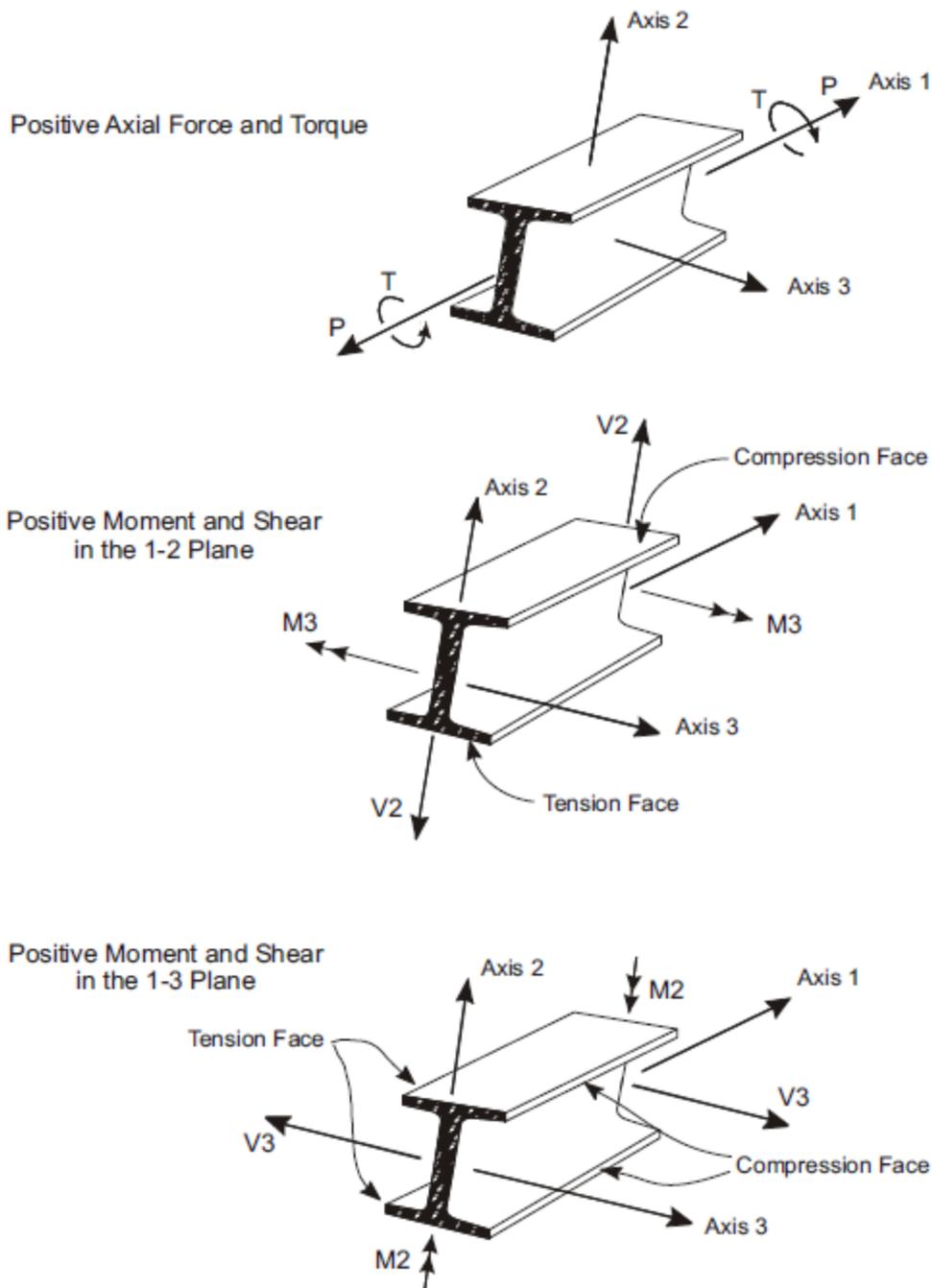


Pianta archi

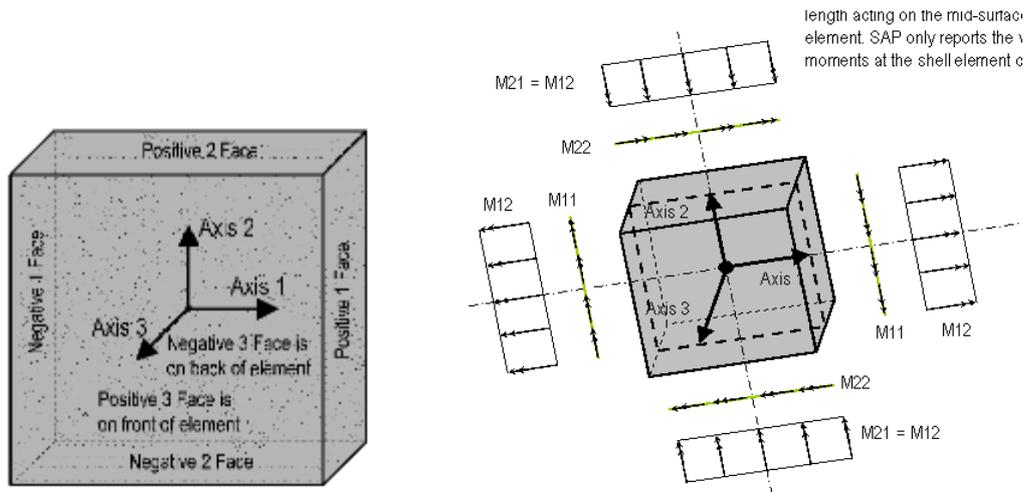


### 6.4 Convenzione dei segni

La figura sottostante rappresenta le convenzioni adottate per le sollecitazioni sugli elementi trave:



La figura sottostante rappresenta le convenzioni adottate per le sollecitazioni sugli elementi piastra:



 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>		
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>48</b> di 122	

## 7 ANALISI DINAMICA

Nella presente sezione verrà illustrata la procedura adottata al fine di valutare il coefficiente di amplificazione dinamica delle sollecitazioni e degli spostamenti degli elementi strutturali calcolati assumendo un'applicazione statica dei treni di carico.

Per ottemperare a quanto richiesto dalle norme incluse nel DM 14.1.2008 e alle specifiche RFI (RFI DTC INC PO SP IFS 001 A 27122011): "SPECIFICA PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI E DI ALTRE OPERE MINORI SOTTO BINARIO", tale coefficiente sarà valutato come segue:

1. Mediante la formula 5.2.6 della sezione 5.2.2.3.3 del DM2008 ("Effetti dinamici")
2. Mediante verifica semplificata delle condizioni di risonanza, come richiesto nelle specifiche RFI (Allegato 2)

Infine, sarà verificata la relazione 1.4.2.6.3 come richiesto nelle specifiche di cui sopra.

### 7.1 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA SECONDO DM2008

Il ponte ferroviario oggetto di verifica è relativo a linee ad alta velocità e alta capacità (A.V./A.C.), pertanto, per il calcolo del coefficiente  $\Phi$  si considera il caso di linee ad elevato standard manutentivo ( $\Phi = \Phi_2$ ) per le quali risulta:

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.82$$

con la limitazione  $1.00 \leq \Phi_2 \leq 1.67$ .

L'altezza della copertura dall'estradosso della struttura alla faccia superiore delle traverse, nel caso in esame, risulta  $h = 0.98 \text{ m} < 1.00$ , pertanto l'effettivo valore del coefficiente dinamico nel caso di ponti ad arco (pt. 5.2.8 DM2008) coincide con il valore calcolato di  $\Phi_2$ , senza ulteriore riduzione.

Per linee con elevato standard manutentivo $\Phi = \Phi_2$			
	$\Phi_2$	$L_\Phi$ [m]	
Verifiche longitudinali	1.09	30	semi luce ponte
Verifiche trasversali	1.62	4	2 x interasse trasversi
Verifiche pendino	1.20	16	4 x interasse pendini

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>49</b> di 122

### 7.1.1 REQUISITI SULLA FREQUENZA FLESSIONALE

In aggiunta al calcolo del coefficiente di amplificazione dinamica, si riportano le richieste verifiche dei limiti imposti sulla prima frequenza flessionale della struttura a ponte.

Con apposito modello di calcolo agli elementi finiti, messo a punto per la progettazione dell'opera in esame, è stata una frequenza flessionale fondamentale (la più bassa) del ponte caricato con le azioni permanenti pari a

$$n_0 = 2.129 \text{ Hz}$$

I limiti imposti dal DM2008 risultano:

$$n_0 \geq 1.83 \text{ Hz} \quad \text{e} \quad n_0 \leq 3.75 \text{ Hz}$$

## 7.2 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA REALE

In ottemperanza a quanto disposto nelle specifiche tecniche RFI, sono stati valutati i coefficienti di amplificazione dinamica come riportato al punto 1.4.2.5 delle suddette norme. Al fine di valutare il così detto coefficiente di amplificazione dinamica reale, è stata condotta un'analisi dinamica secondo quanto suggerito al punto 1.4.2.6 e in conformità alla metodologia proposta nell'allegato 2 delle medesime specifiche RFI.

### 7.2.1 IPOTESI DI MODELLAZIONE

Le analisi semplificate per la verifica in condizione di risonanza proposte nel suddetto allegato, fanno esclusivamente riferimento a ponti a travata a campata singola, in semplice appoggio, o con schema statico a trave continua su più appoggi. Il ponte oggetto di verifica è invece una struttura composta da due elementi strutturali collaboranti schematizzabili come: un elemento "trave", modello monodimensionale rappresentativo del comportamento flessionale e torsionale del graticcio di travi formante l'impalcato, e due elementi monodimensionali "trave curva" rappresentativi del contributo di portanza flessionale dei due archi collaboranti presenti nella struttura.

Il metodo di calcolo proposto nelle specifiche RFI prevede l'analisi della risposta dinamica mediante modello ridotto ad un grado di libertà deducibile dal modello continuo di trave in semplice appoggio (o su più campate) mediante proiezione delle equazioni del moto nella base modale definita dal solo primo modo di vibrare flessionale del trave. Analogamente,

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>50</b> di 122

l'analisi della condizione di risonanza è richiesta anche in riferimento alla componente torsionale del moto del ponte per la quale è prevista analoga procedura adottata per la componente flessionale.

La struttura in esame è un ponte ad arco (a via inferiore) a spinta eliminata, in cui l'impalcato funge da catena, risultando essere un elemento strutturale teso, e gli archi da puntoni (compressi), per cui la portanza flessionale globale della struttura risulta dall'accoppiamento delle due tipologie di elementi strutturali per mezzo dei pendini verticali che collegano archi ed impalcato. Dunque, il comportamento flessionale (e torsionale) globale della struttura può essere assimilato ad un elemento "trave" in semplice appoggio equivalente avente caratteristiche di rigidità ed inerzia flessio-torsionale del sistema strutturale "ponte ad arco a spinta eliminata".

Sotto tale ipotesi, il metodo suggerito in allegato 2 delle specifiche RFI può essere applicato nella misura in cui la base modale su cui proiettare le equazioni del moto del modello continuo di trave monodimensionale equivalente sia costituita dai modi di vibrare effettivi del modello trave-archi.

Pertanto, il primo passo da compiere al fine di condurre le suddette analisi dinamiche è quello di determinare il primo modo di vibrare flessionale e torsionale del ponte oggetto di verifica. A tale scopo, si è condotta un'analisi modale del modello agli elementi finiti implementato per la progettazione e le verifiche della struttura stessa, e di seguito se ne riportano i risultati più significativi

## 7.2.2 ANALISI MODALE

Nell'analisi modale condotta, si sono assunte collaboranti anche le masse dei carichi permanenti agenti sul ponte, come richiesto dalle specifiche RFI al fine di poter condurre le successive analisi dinamiche. In particolare le masse considerate nell'analisi modale fanno riferimento alla combinazione di carico "Carichi permanenti" definita nella sezione "COMBINAZIONE DELLE AZIONI").

Come riportato nella tabella seguente, in cui sono presentati i parametri notevoli dell'analisi modale, il numero di modi necessari da considerare al fine che nella struttura sia eccitato almeno l' 85% della massa traslazionale nelle direzioni X, Y e Z è pari a 42

Modo	Periodo [s]	Frequenza [Hz]	Massa traslazionale partecipante direzione X (somma) [%]	Massa traslazionale partecipante direzione Y (somma) [%]	Massa traslazionale partecipante direzione Z (somma) [%]
1	0.470	2.129	6.61	0.00	0.05
2	0.375	2.668	6.61	20.53	0.06
3	0.284	3.516	9.69	20.53	52.87
4	0.243	4.123	9.70	27.81	52.92
5	0.222	4.507	21.19	28.12	71.35
6	0.202	4.945	21.33	70.99	71.35
7	0.156	6.425	40.06	71.02	74.34
8	0.145	6.890	40.06	79.70	74.54
9	0.133	7.494	85.79	79.70	77.32
10	0.123	8.109	86.34	80.13	77.83
11	0.119	8.429	90.56	80.51	85.50
12	0.111	8.982	90.56	80.53	85.50
13	0.107	9.350	90.56	80.54	85.50
14	0.098	10.188	90.60	80.54	86.91
15	0.098	10.190	90.64	80.54	87.60
16	0.098	10.211	90.66	80.54	87.75
17	0.095	10.534	90.76	80.54	87.85
18	0.095	10.567	91.73	80.55	87.86
19	0.093	10.712	91.73	80.56	87.87
20	0.092	10.828	91.74	80.57	87.87
21	0.091	10.958	92.11	80.58	87.87
22	0.085	11.701	92.90	80.58	88.86
23	0.080	12.505	92.99	80.97	88.88
24	0.078	12.856	93.00	80.97	88.88
25	0.076	13.115	93.00	80.97	88.88
26	0.076	13.158	93.00	81.01	88.88
27	0.076	13.166	93.00	81.02	88.89
28	0.076	13.190	93.00	81.03	88.90
29	0.075	13.352	93.01	81.14	88.92
30	0.070	14.281	93.01	82.44	89.06
31	0.070	14.354	93.01	82.52	89.06
32	0.067	14.818	93.22	82.52	89.46
33	0.067	14.992	93.38	82.52	89.53
34	0.065	15.373	93.47	82.62	89.72
35	0.061	16.419	93.47	82.62	89.72
36	0.060	16.534	93.50	82.62	89.84

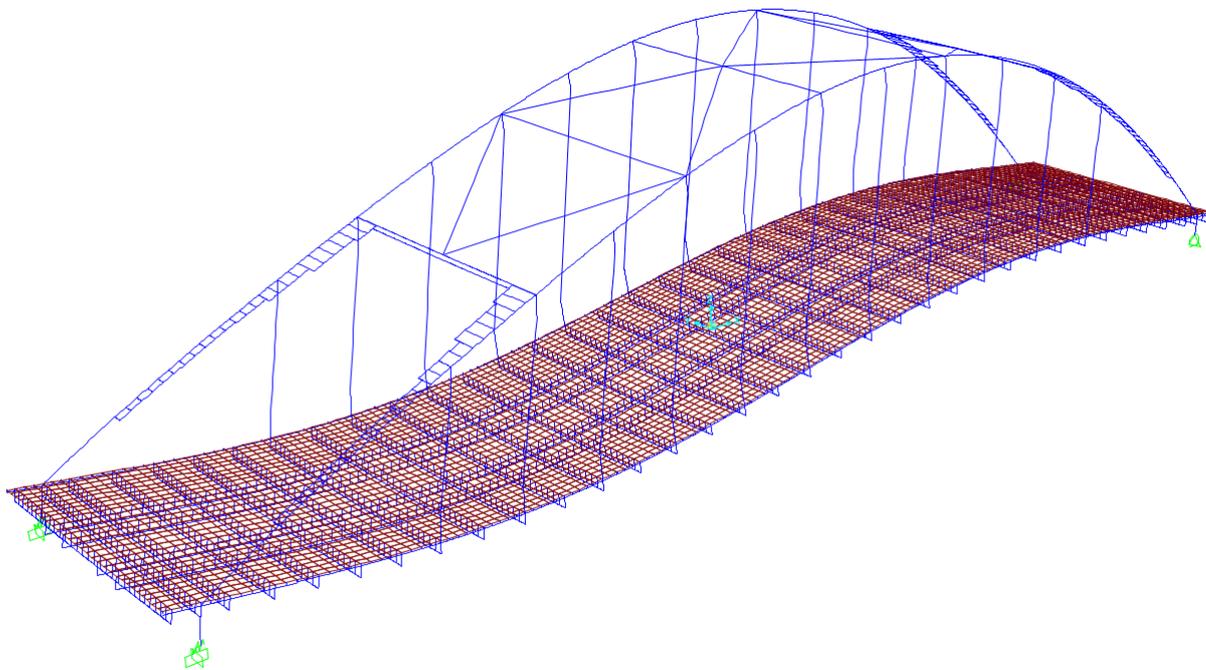
**Linea AV/AC VERONA – PADOVA****1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN  
STRUTTURA METALLICA - ARCOPROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.  
IN0D00DI2CLVI0007003BPag.  
52 di 122

37	0.060	16.549	93.60	82.62	90.03
38	0.058	17.379	93.62	82.84	90.39
39	0.057	17.607	93.62	82.85	90.40
40	0.057	17.619	93.62	82.98	90.42
41	0.057	17.697	93.63	83.55	90.43
42	0.056	17.853	93.66	85.79	90.45
43	0.056	17.938	93.66	86.09	90.46
44	0.055	18.163	93.67	86.33	90.47
45	0.055	18.301	93.69	86.39	91.06
46	0.054	18.455	93.69	86.39	91.06
47	0.054	18.493	93.69	86.39	91.07
48	0.054	18.577	93.73	86.39	91.08
49	0.054	18.680	93.73	86.46	91.08
50	0.053	18.759	93.73	86.47	91.44

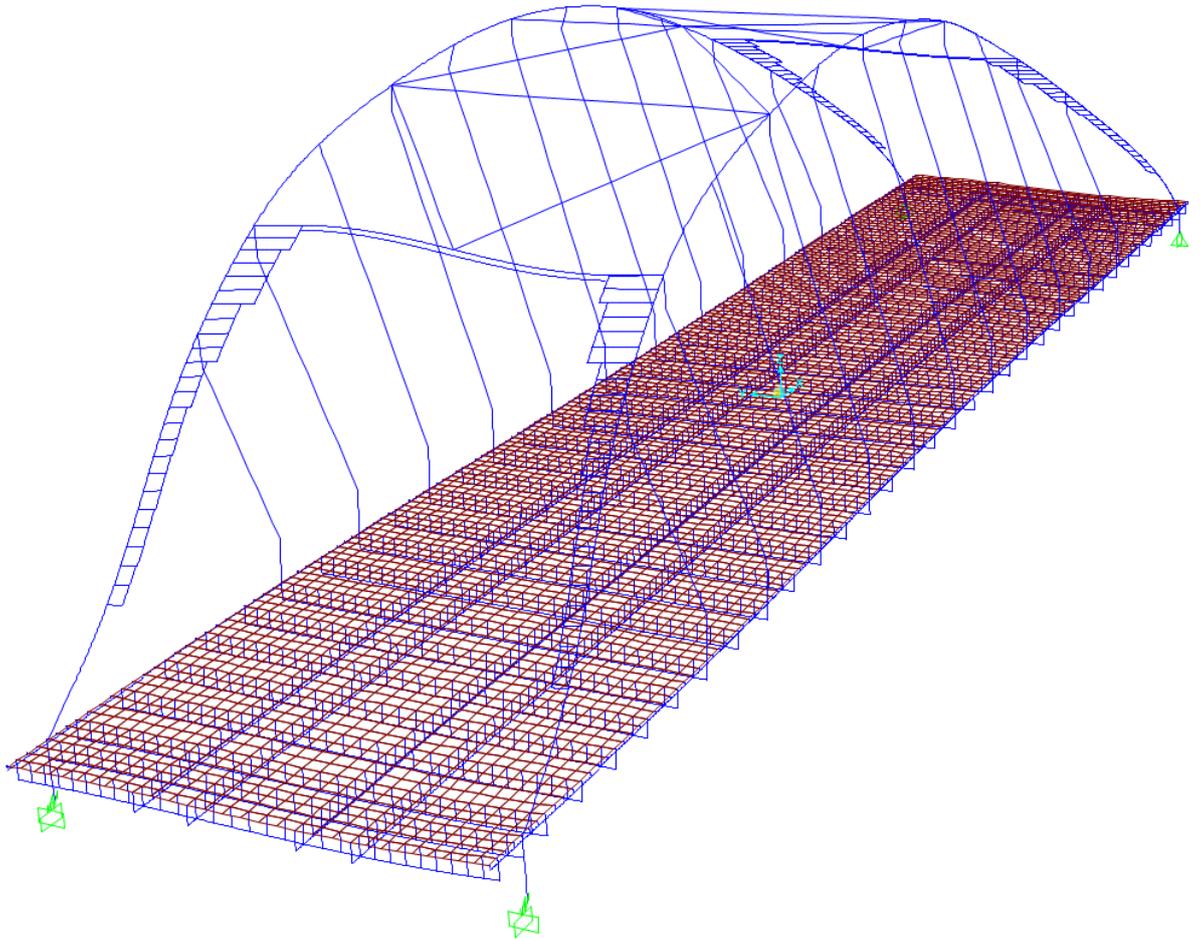
### 7.2.2.1 FORME MODALI

Di seguito si riportano le forme relative ai primi modi di vibrare globali del ponte con le associate frequenze proprie:

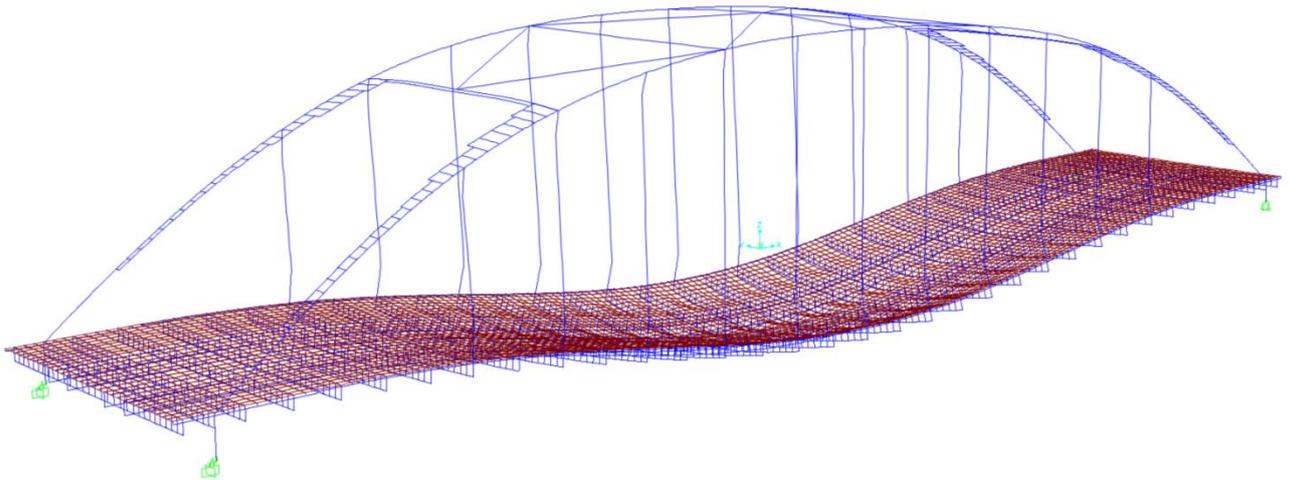
Modo 1: flessionale antisimmetrico nel piano verticale coinvolgente archi e impalcato, frequenza  $f = 2.129$  Hz



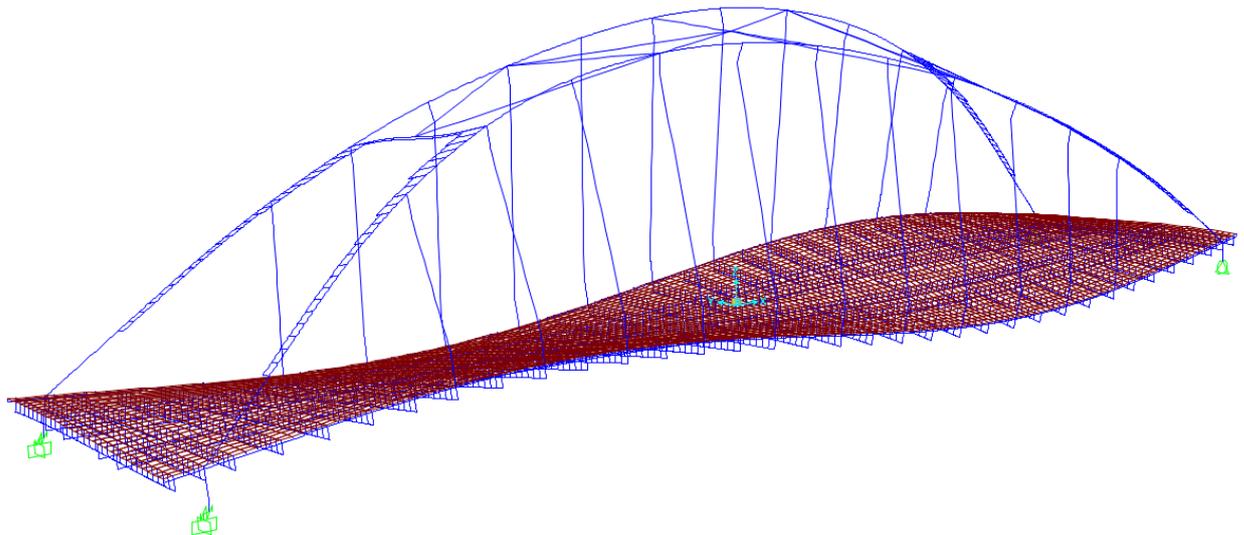
- Modo 2: flessionale simmetrico nel piano orizzontale coinvolgente i soli archi, frequenza  $f = 2.668$  Hz



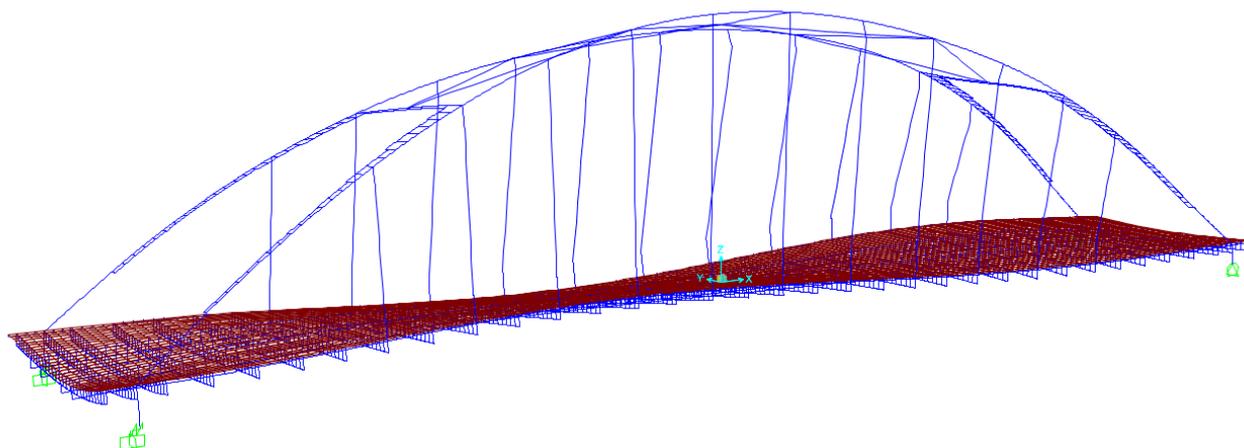
- Modo 3: flessionale simmetrico nel piano verticale coinvolgente archi e impalcato, frequenza  $f = 3.516$  Hz



- Modo 4: torsionale antisimmetrico coinvolgente archi e impalcato, frequenza  $f = 4.123$  Hz



- Modo 6: torsionale simmetrico coinvolgente archi e impalcato, frequenza  $f = 4.945$  Hz



 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>57 di 122</b>

### 7.2.3 ANALISI DINAMICA

La velocità massima di progetto della linea ferroviaria passante sul ponte oggetto di verifica risulta pari a  $V_p = 250$  km/h; il range di velocità dei treni utilizzato nell'analisi dinamica va dal valore minimo di  $V_{min} = 20$  km/h ad un massimo di  $V_{max} = 300$  km/h, valore previsto ai fini della verifica e pari a  $V_{max} = 1.2 V_p$ . Le analisi sono state effettuate ad incrementi di velocità di 5 km/h.

Come esplicitamente richiesto nelle specifiche RFI (pt. 1.4.2.6), i parametri calcolati nelle simulazioni per ogni treno e per ogni velocità di transito, e riportati nel seguito, sono

- 1) Il coefficiente  $\varphi'_{Reale,f}(V) = \left| \frac{\delta_{din}}{\delta_{stat}} \right|$ , ossia il valore assoluto del rapporto tra la freccia massima della struttura valutata nell'analisi dinamica alla velocità di transito  $V$  e la freccia massima valutata al valore di velocità  $V_{min} = 20$  km/h, rispettivamente, e il massimo valore dei coefficienti  $\varphi'_{Reale,f}(V)$  calcolati alle diverse velocità'.
- 2) L'accelerazione massima verticale dell'impalcato che dovrà risultare inferiore a 3.5 m/s<sup>2</sup>.
- 3) Il coefficiente dinamico reale  $\varphi$  calcolato, come previsto al punto 1.4.2.6 delle specifiche, come segue:

$$\varphi = \varphi'_{Reale,f} + \varphi''^*$$

con  $\varphi''^* = \varphi''/2$  per linee ad elevato standard manutentivo. In particolare, il coefficiente  $\varphi''$  e' valutato in accordo alla formula 1.4.2.5.2.6., da cui risulta:

$$\varphi''^* = 0.0664$$

Lo smorzamento strutturale adottato, in conformità ai valori riportati in tabella 1.4.2.6.3.1.1 delle specifiche tecniche RFI, corrisponde ad un fattore di smorzamento critico  $\zeta = 4\%$ . Le analisi dinamiche sono state condotto rispettivamente per modelli di carico tipo HSLM e per modello di "treno reale" (TR).

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>58</b> di 122

### 7.2.3.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL MODELLO

In riferimento alla procedura adottata al fine di condurre le analisi dinamiche mediante un modello meccanico semplificato ad un grado di libertà, si riportano di seguito le caratteristiche di rigidezza e inerzia modali relative al primo modo flessionale e torsionale.

#### 7.2.3.1.1 MODO FLESSIONALE

La forma adottata per descrivere il modo flessionale fondamentale è la seguente:

$$\phi^{(1)} = -0.05445 \sin(0.071697 x) - 0.99698 \sin(0.10577 x), \text{ con } x \in [0, L] \text{ ed } L=60 \text{ m}$$

ottenuta attraverso una procedura di approssimazione ai minimi quadrati della forma modale valutata in forma discreta dal modello di calcolo agli elementi finiti, e su cui sono state proiettate le equazioni del moto.

Massa modale,  $m^{(1)} = 0.522 M$  dove  $M$  è la massa totale dell'impalcato pari a  $M = 2.356 \times 10^6$  kg.

Frequenza del primo modo  $f^{(1)} = 2.129$  Hz, corrispondente ad una frequenza circolare  $\omega^{(1)} = 13.377$  rad/sec.

Rigidezza modale  $k^{(1)} = 2.199 \times 10^8$  N/m.

Smorzamento modale  $r^{(1)} = 1.316 \times 10^6$  N sec/m.

#### 7.2.3.1.2 MODO TORSIONALE

La forma adottata per descrivere il modo torsionale fondamentale è la seguente:

$$\phi^{(1)} = 0.19374 \sin(0.05519 x) - 0.87617 \sin(0.10455 x), \text{ con } x \in [0, L] \text{ ed } L=60 \text{ m}$$

ottenuto attraverso una procedura di approssimazione ai minimi quadrati della forma modale valutata in forma discreta dal modello di calcolo agli elementi finiti, e su cui sono state proiettate le equazioni del moto.

Massa rotazionale modale,  $J_m^{(1)} = 0.389 J_M$  dove  $J_M$  e' la massa rotazionale totale dell'impalcato pari a  $J_M = 2.612 \times 10^7 \text{ kg m}^2$ .

Frequenza del primo modo  $f^{(1)} = 4.123 \text{ Hz}$ , corrispondente ad una frequenza circolare  $\omega^{(1)} = 25.906 \text{ rad/sec}$ .

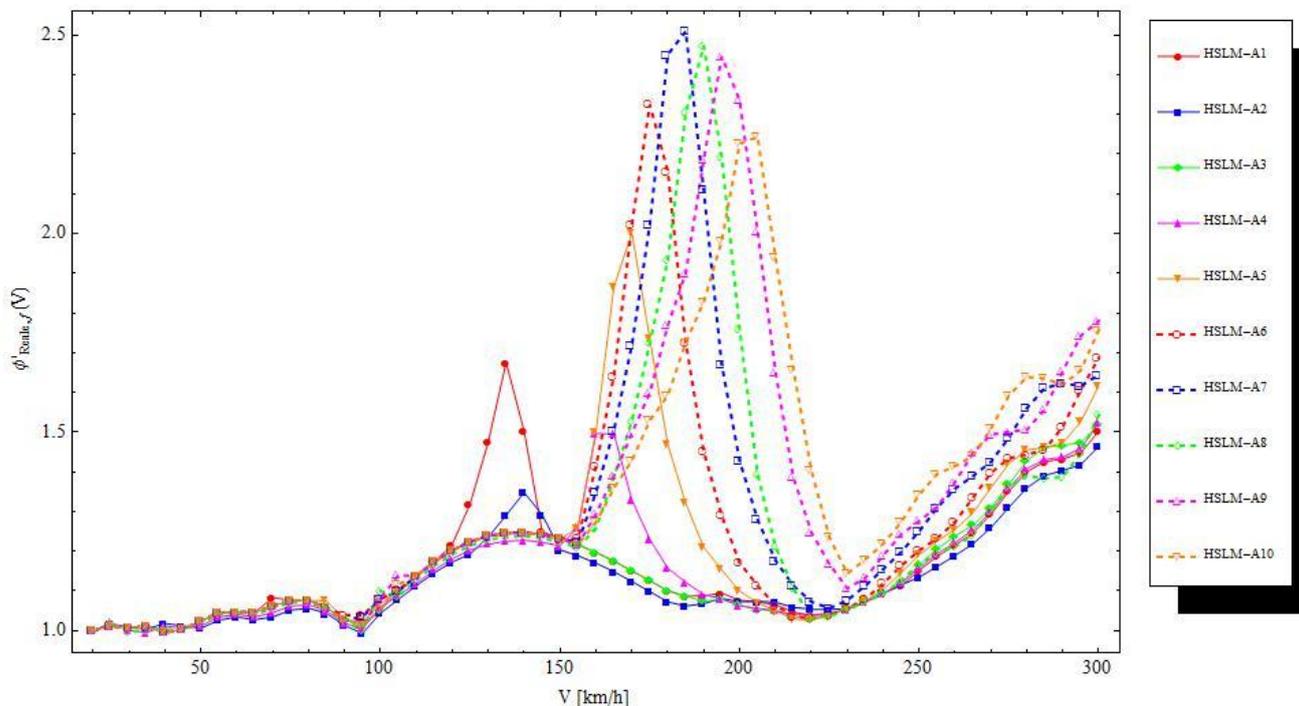
Rigidezza modale  $k^{(1)} = 6.823 \times 10^9 \text{ Nm}$ .

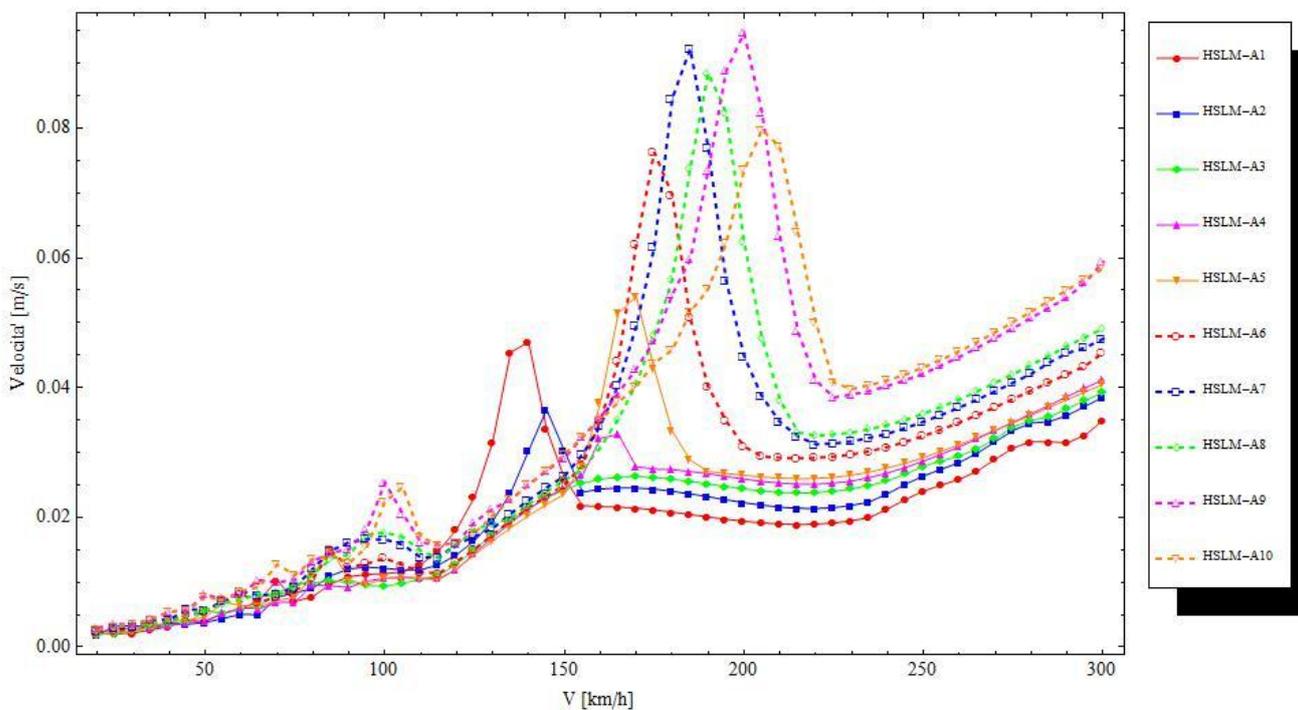
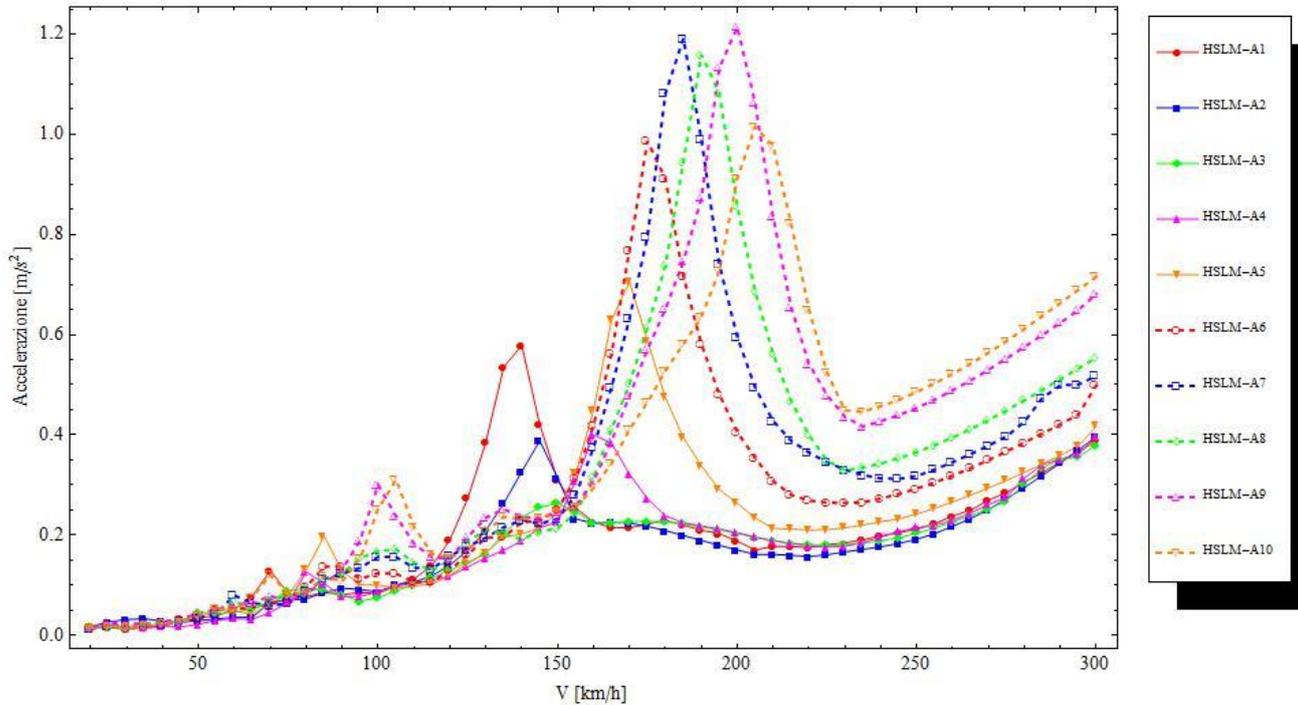
Smorzamento modale  $r^{(1)} = 2.107 \times 10^7 \text{ N m sec}$ .

### 7.2.3.2 RISULTATI, MODELLO DI CARICO HSLM

Sono stati utilizzati modelli di carico tipo HSLM-A, determinati secondo quanto disposto in allegato 1.3 delle specifiche RFI.

#### 7.2.3.2.1 ANALISI MOTO FLESSIONALE





Nelle tre figure precedenti sono riportati, rispettivamente, gli andamenti dei coefficienti  $\phi'_{\text{Reale},f}(V)$ , della massima accelerazione e della massima velocità indotta sull'impalcato per i 10 treni di carico HSLM-A relativamente alle analisi condotte sul modo flessionale del ponte.

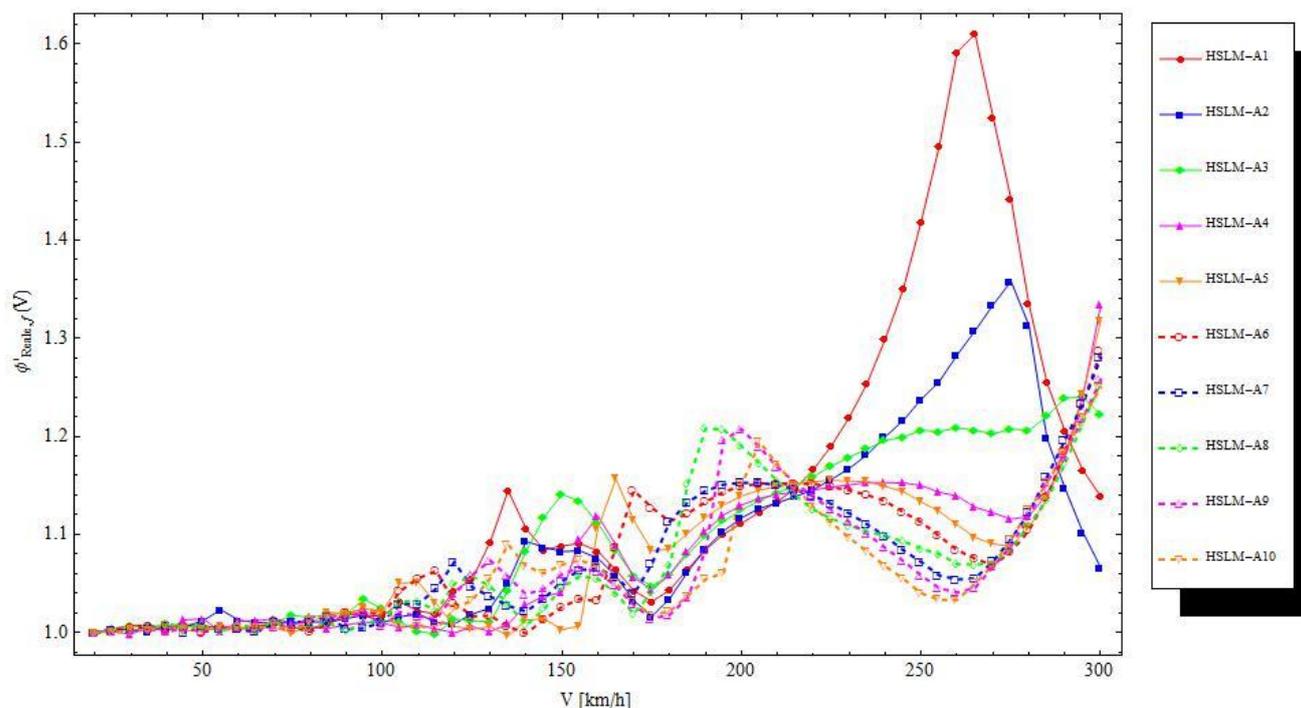
I massimi valori delle tre quantità sono riportati nella seguente tabella indicante il modello di carico e la velocità di progetto a cui si attingono tali massimi valori:

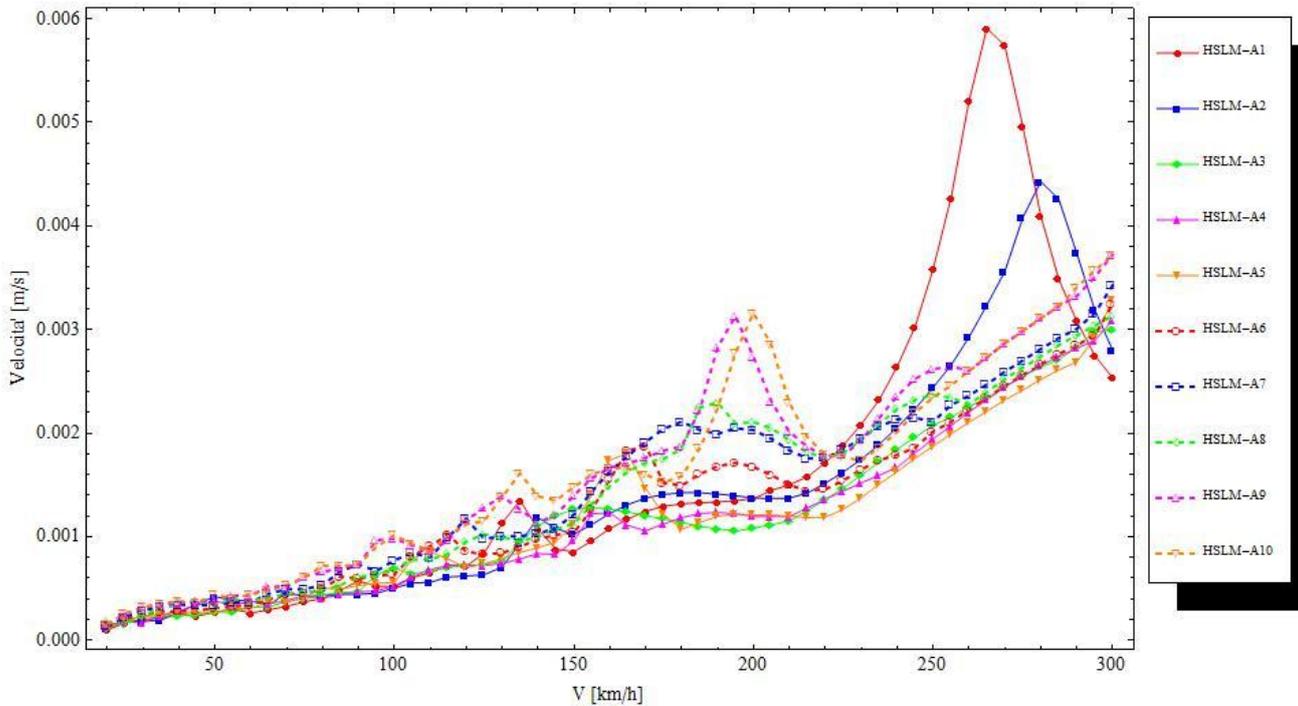
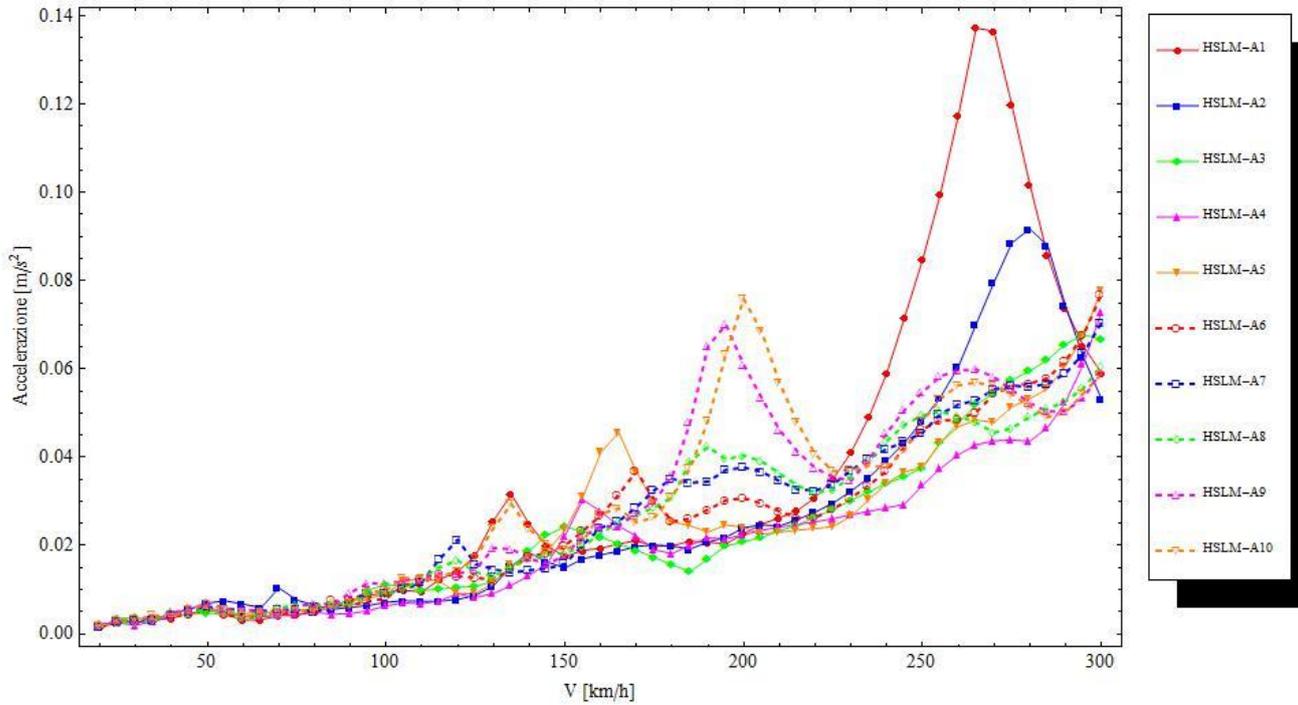
Treno di carico	Velocità di progetto [km/h]	$\phi'_{\text{Reale},f}$	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Velocità [m/s]
HSLM-A7	185	2.51	-	-
HSLM-A9	200	-	1.214	0.095

Infine, il coefficiente dinamico reale massimo  $\phi$  risulta pari a

$$\phi = 2.576$$

### 7.2.3.2.2 ANALISI MOTO TORSIONALE





Nelle tre figure precedenti sono riportati, rispettivamente, gli andamenti dei coefficienti  $\varphi'_{\text{Reale},f}(V)$ , della massima accelerazione e della massima velocità indotta sull'impalcato (livello assi binari) per i 10 treni di carico HSLM-A relativamente alle analisi condotte sul modo torsionale del ponte.

I massimi valori delle tre quantità sono riportati nella seguente tabella indicante il modello di carico e la velocità di progetto a cui si attingono tali massimi valori:

Treno di carico	Velocità di progetto [km/h]	$\varphi'_{\text{Reale},f}$	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Velocità [m/s]
HSLM-A1	265	1.61	0.137	0.0059

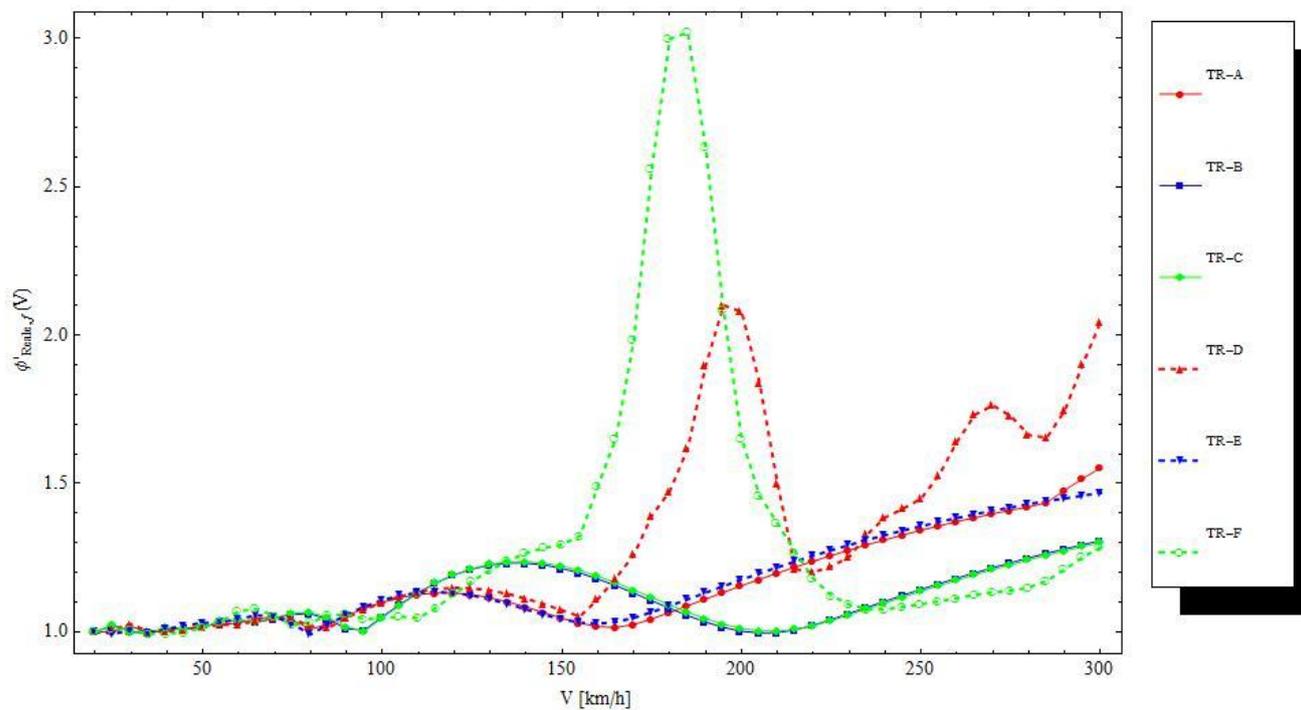
Infine, il coefficiente dinamico reale massimo  $\varphi$  risulta pari a

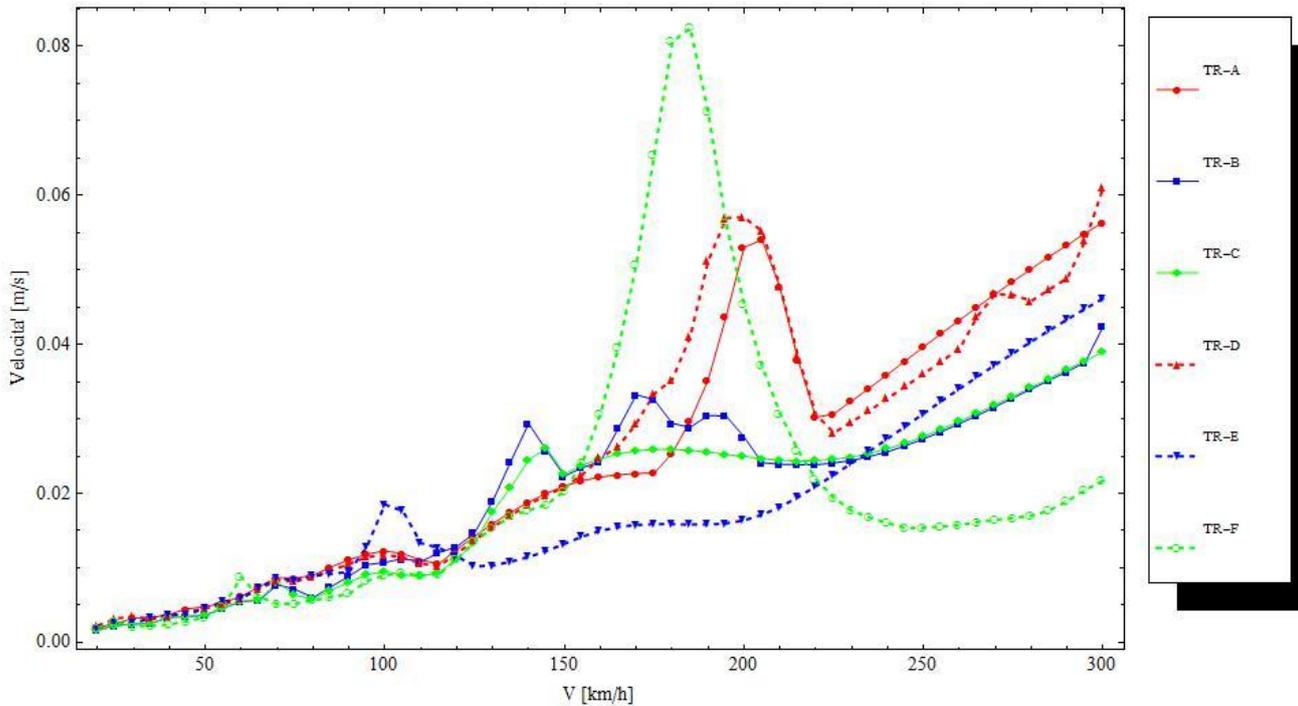
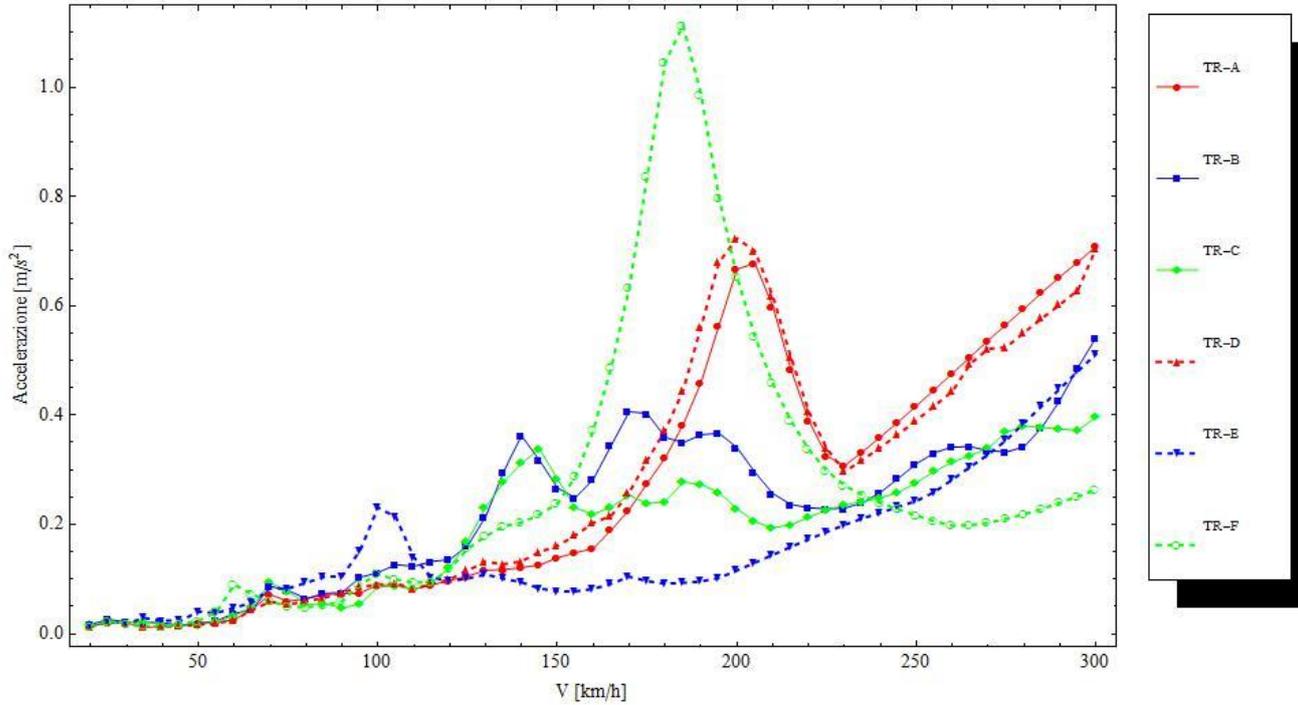
$$\varphi = 1.676$$

**7.2.3.3 RISULTATI, MODELLO DI CARICO TRENO REALE (TR)**

Sono stati utilizzati modelli di carico tipo “treno reale”, determinati secondo quanto disposto in allegato 1.1 delle specifiche RFI.

**7.2.3.3.1 ANALISI MOTO FLESSIONALE**





Nelle tre figure precedenti sono riportati, rispettivamente, gli andamenti dei coefficienti  $\varphi'_{\text{Reale},f}(V)$ , della massima accelerazione e della massima velocità indotta sull'impalcato per i 6 treni di carico tipo "treno reale" relativamente alle analisi condotte sul modo flessionale del ponte.

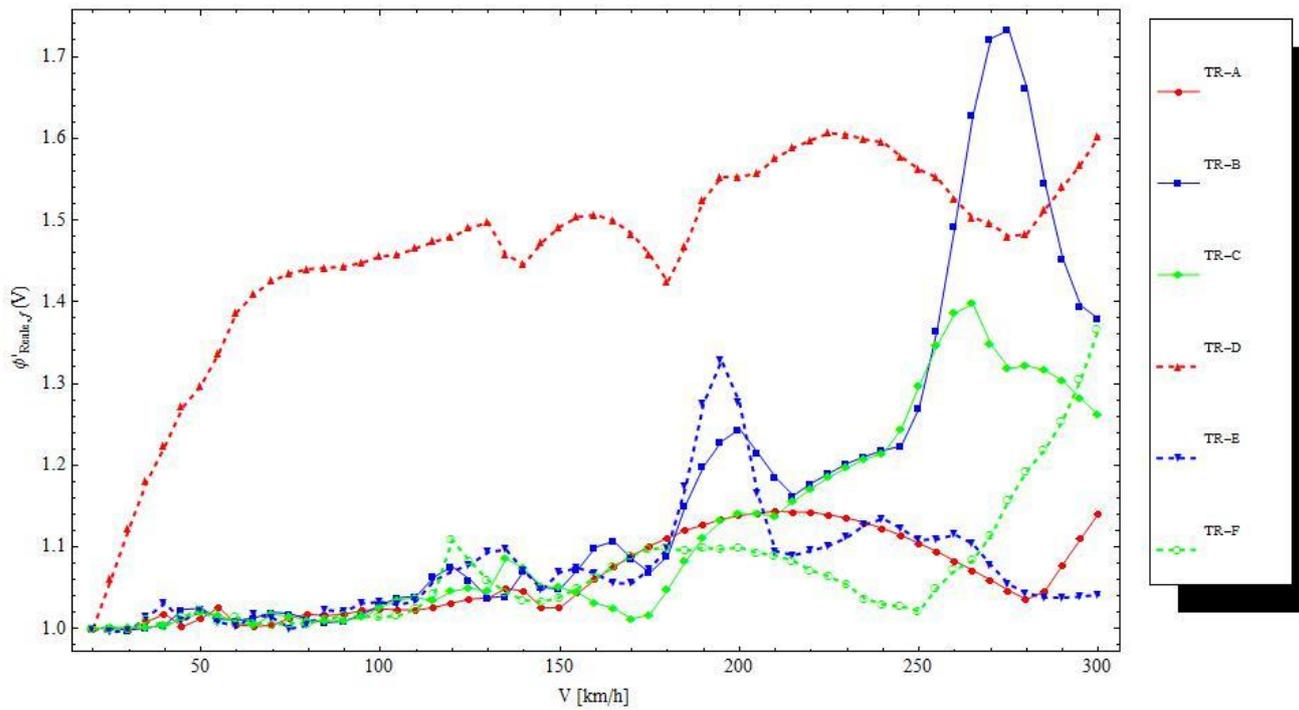
I massimi valori delle tre quantità sono riportati nella seguente tabella indicante il modello di carico e la velocità di progetto a cui si attingono tali massimi valori:

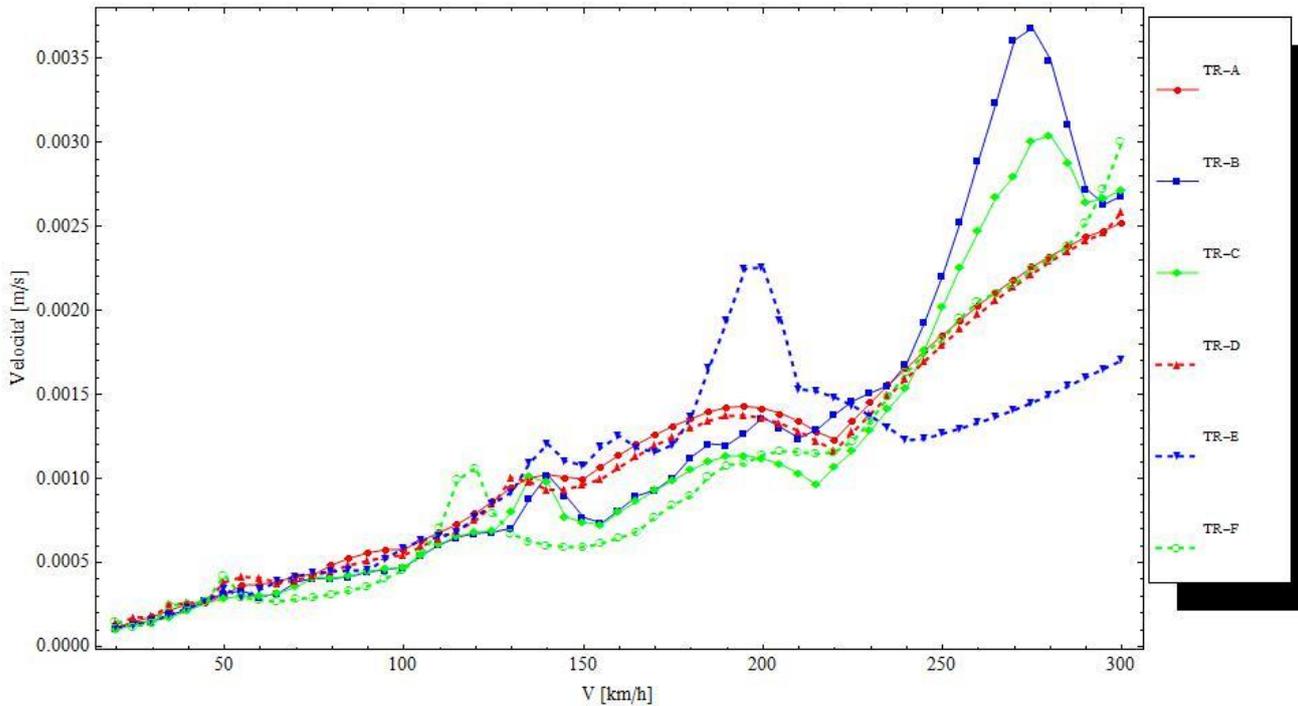
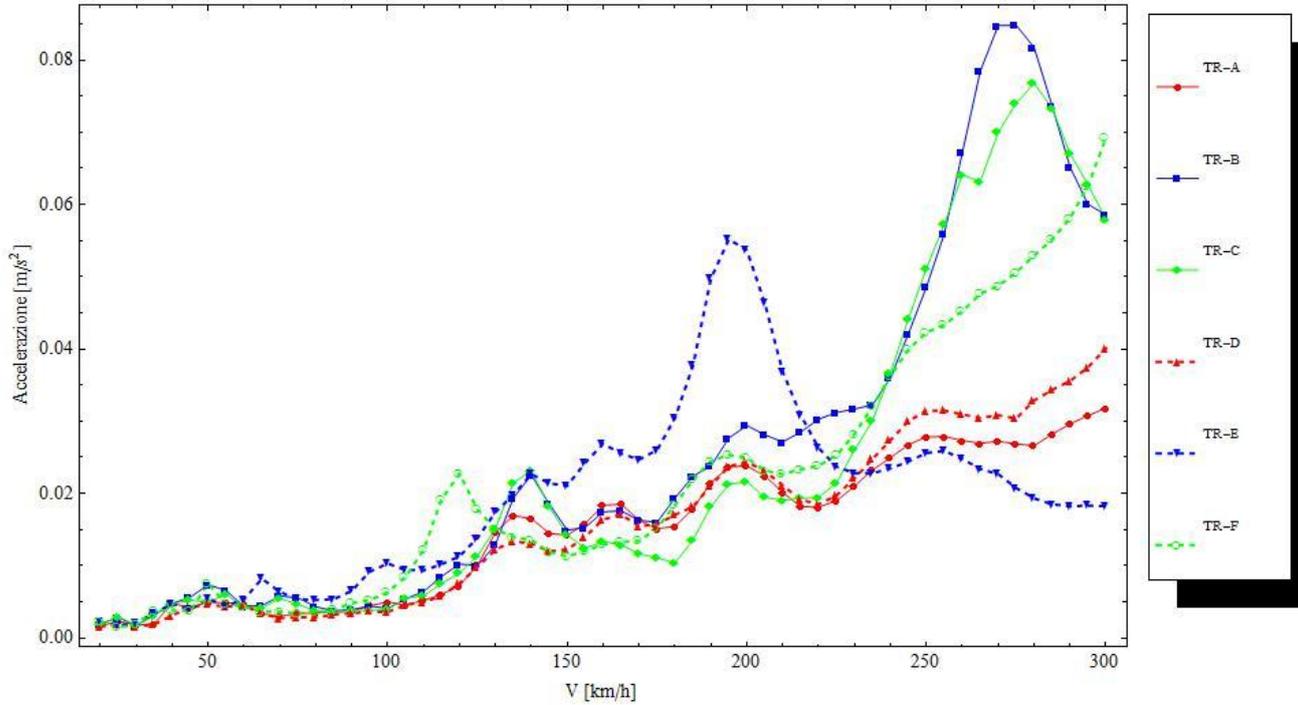
Treno di carico	Velocità di progetto [km/h]	$\varphi'_{\text{Reale},f}$	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Velocità [m/s]
TR-F	185	3.02	1.113	0.082

Infine, il coefficiente dinamico reale massimo  $\varphi$  risulta pari a

$$\varphi = 3.086$$

### 7.2.3.3.2 ANALISI MOTO TORSIONALE





  <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>69</b> di 122

Nelle tre figure precedenti sono riportati, rispettivamente, gli andamenti dei coefficienti  $\varphi'_{\text{Reale},f}(V)$ , della massima accelerazione e della massima velocità indotta sull'impalcato (livello assi binari) per i 6 treni di carico tipo "treno reale" relativamente alle analisi condotte sul modo torsionale del ponte.

I massimi valori delle tre quantità sono riportati nella seguente tabella indicante il modello di carico e la velocità di progetto a cui si attingono tali massimi valori:

Treno di carico	Velocità di progetto [km/h]	$\varphi'_{\text{Reale},f}$	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Velocità [m/s]
TR-B	230	1.733	0.085	0.0037

Infine, il coefficiente dinamico reale massimo  $\varphi$  risulta pari a

$$\varphi = 1.799$$

#### 7.2.3.4 CONSIDERAZIONI FINALI

Dai risultati dell'analisi dinamica emerge che il passaggio del modello di carico **TR-F** provoca la maggiore amplificazione dinamica, con un coefficiente  $\varphi'_{\text{Reale}} = 3.02$ , da cui  $\varphi'_{\text{Reale}} + \varphi''^* = \varphi = 3.086$ . Mentre, la massima accelerazione trasversale valutata sull'impalcato è pari a 1.214 m/s<sup>2</sup> (valutata al passaggio del treno HSLM-A9) che risulta pertanto inferiore al limite massimo presente nelle specifiche di progettazione RFI (RFI DTC INC PO SP IFS 001 A 27122011): "SPECIFICA PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI E DI ALTRE OPERE MINORI SOTTO BINARIO" (pt. 1.4.2.6) e pari a 3.5 m/s<sup>2</sup>

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007003B Pag. 70 di 122	

### 7.3 VERIFICHE DI CUI AL PT. 1.4.2.6

In ottemperanza alla verifica imposta al punto 1.4.2.6 delle specifiche RFI di cui sopra, deve essere garantito che

$$(\varphi'_{Reale,f} + \varphi''^*) \cdot \left\{ \begin{array}{l} HSLM \\ oppure \\ RT \end{array} \right\} \leq \Phi \cdot \left\{ \begin{array}{l} \alpha \cdot LM71 + \alpha \cdot SW / 0 \\ oppure \\ SW / 2 \end{array} \right\}$$

Come parametro per la comparazione degli effetti dell'amplificazione dinamica mediante l'utilizzo dei coefficienti reali (valutati in questo capitolo) e quelli definiti dalle specifiche RFI, si fa riferimento alla freccia massima sulle travi di impalcato e sugli archi valutata secondo la relazione precedente nonché la massima sollecitazione di momento flettente M3 su travi ed archi. Si procede dunque al confronto della freccia massima dell'impalcato provocata dai modelli di carico LM71, SW/2 e dal modello di carico che, in base all'analisi dinamica condotta, provoca la massima amplificazione dinamica, ovvero il treno di carico TR-F.

Il coefficiente  $\Phi$  adottato è quello relativo alle verifiche longitudinali e pari a  $\Phi = 1.06$  mentre il coefficiente  $\alpha$  vale  $\alpha = 1.1$  per il treno di carico LM71.

Di seguito si riportano i massimi spostamenti valutati sulle travi e sugli archi:

Spostamenti massimi travi				Spostamenti minimi travi			
	U1	U2	U3		U1	U2	U3
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
TR-F	1.838	0.736	7.235	TR-F	-0.798	-0.173	-11.817
LM71	2.261	0.754	8.502	LM71	-0.993	-0.175	-14.503
SW2	2.656	0.817	10.606	SW2	-1.223	-0.182	-17.813

Spostamenti massimi archi				Spostamenti minimi archi			
	U1	U2	U3		U1	U2	U3
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
TR-F	7.969	1.547	6.93	TR-F	-7.303	-1.378	-11.076
LM71	9.651	2.028	8.005	LM71	-8.699	-1.451	-13.855
SW2	12.012	2.412	10.023	SW2	-10.844	-1.733	-17.019

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>		
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	REV.	Pag. <b>71 di 122</b>

Di seguito si riportano i valori massimi e minimi della sollecitazione di momento flettente valutata sulle travi e sugli archi:

	Travi		Archi	
	M3 max	M3 min	M3 max	M3 min
	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
TR-F	2653.5	-1755.4	1568.3	-1075.6
LM71	2880.9	-2302.3	1771.3	-1362.7
SW2	3424.3	-2771.6	2148.4	-1690.9

La verifica di cui al punto 1.4.2.6 delle specifiche RFI si ritiene soddisfatta.

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>72 di 122</b>

## 8 ANALISI DI STABILITA' GLOBALE

Nella presente sezione è riportata l'analisi di stabilità statica globale del ponte ad arco oggetto di verifica. L'analisi limite elastica condotta nel seguito ha l'obiettivo di determinare il carico massimo sostenibile dalla struttura al limite della condizione di buckling ovvero di perdita di stabilità dovuto alla riduzione di rigidezza (contributo geometrico) indotta negli elementi compressi (prevalentemente archi) dai carichi statici di progetto agenti sul ponte. L'analisi condotta è basata sui criteri di sicurezza proposti nella normativa europea EC 1993-1-1 sezione 5.2.1 ed inerenti gli effetti della geometria deformata della struttura sulla stabilità globale della stessa.

### 8.1 Condizione di carico

La condizione di carico statico considerata nell'analisi è quella in cui il ponte è soggetto ai pesi propri strutturali e ai carichi permanenti portati (di cui alla combinazione "Carichi permanenti" definita nella sezione "COMBINAZIONE DELLE AZIONI") e alla presenza simultanea di due treni di carico (opportunamente combinati):

- 1) Carico verticale LM71
- 2) Carico verticale SW/2

La combinazione dei suddetti carichi verticali variabili è definita in base a quanto disposto nella sezione 5.2.3.1.2 del DM2008 relativamente alla contemporaneità della presenza di tali treni di carico sull'impalcato avente due binari. L'entità e la distribuzione dei carichi in questione sono invece definite in base a quanto disposto ai punti 5.2.2.3.1.1 e 5.2.2.3.1.2 della norma, rispettivamente per quel che riguarda il treno di carico LM71 ed SW.

### 8.2 Analisi di buckling

Tre diverse analisi di stabilità sono state condotte in base alla combinazione (tipo e disposizione) dei carichi variabili adottata, in particolare:

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>73</b> di 122

- a) Carichi permanenti + Treno LM71 su binario 2 (lato appoggio fisso) + Treno LM71 su binario 1
- b) Carichi permanenti + Treno LM71 su binario 2 (lato appoggio fisso) + Treno SW/2 su binario 1
- c) Carichi permanenti + Treno SW/2 su binario 2 (lato appoggio fisso) + Treno LM71 su binario 1

La distinzione nei casi b) e c) si è ritenuta necessaria in quanto le condizioni di vincolo esterne dei due archi risultano differenti e legate alla scelta degli apparecchi di appoggio.

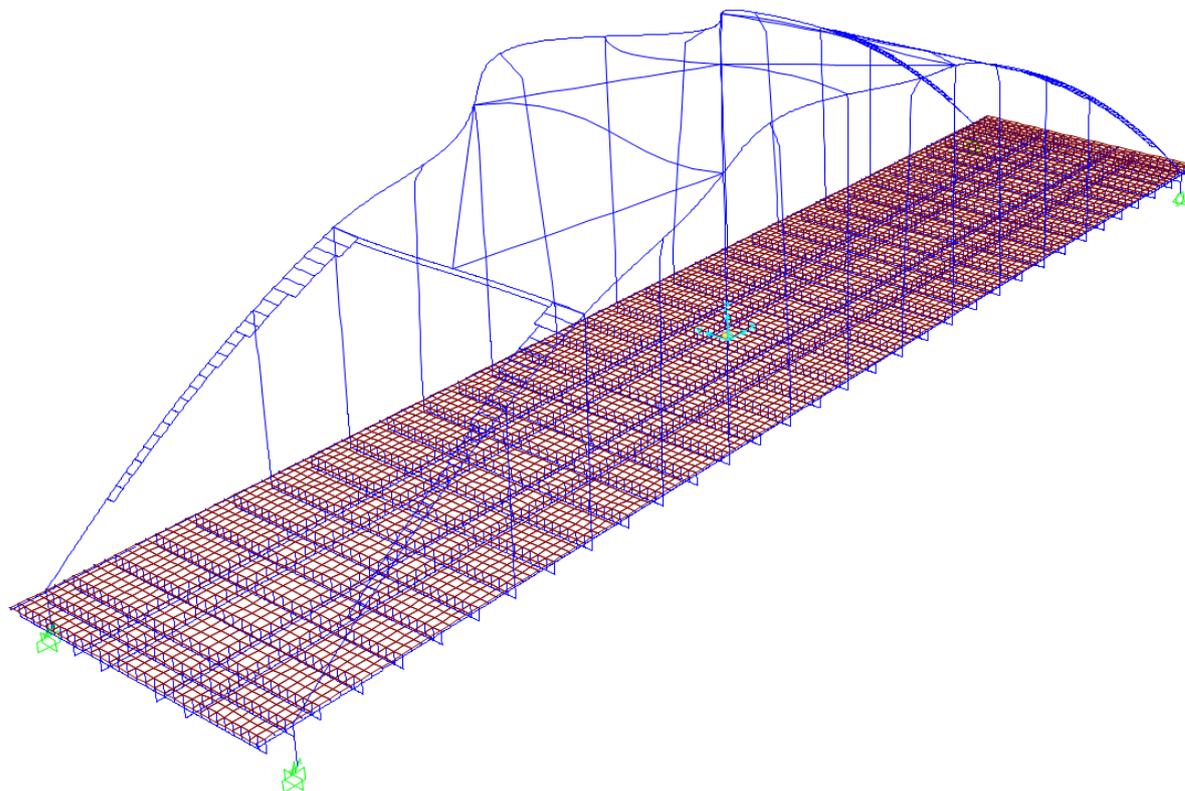
L'analisi agli autovalori condotta, consiste nel determinare il moltiplicatore di carico  $\alpha$  che induce perdita di rigidezza globale della struttura ovvero calcolare il più basso autovalore corrispondente al primo modo globale di buckling del ponte.

**8.2.1 Combinazione a)**

Relativamente alla condizione di carico a) si è valutato un moltiplicatore di carico pari a:

$$\alpha_a = 13.95$$

corrispondente al modo di buckling globale del ponte riportato nella figura seguente:

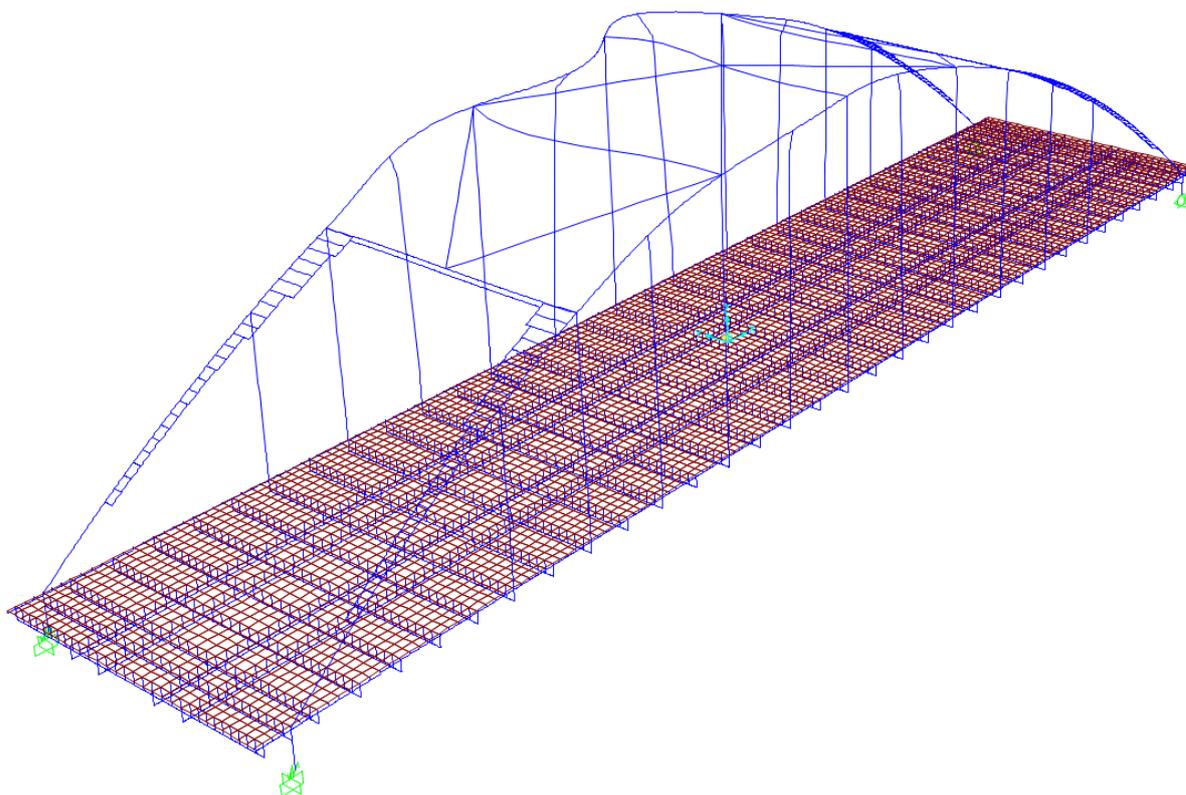


**8.2.2 Combinazione b)**

Relativamente alla condizione di carico b) si è valutato un moltiplicatore di carico pari a:

$$\alpha_b = 13.38$$

corrispondente al modo di buckling globale del ponte riportato nella figura seguente:

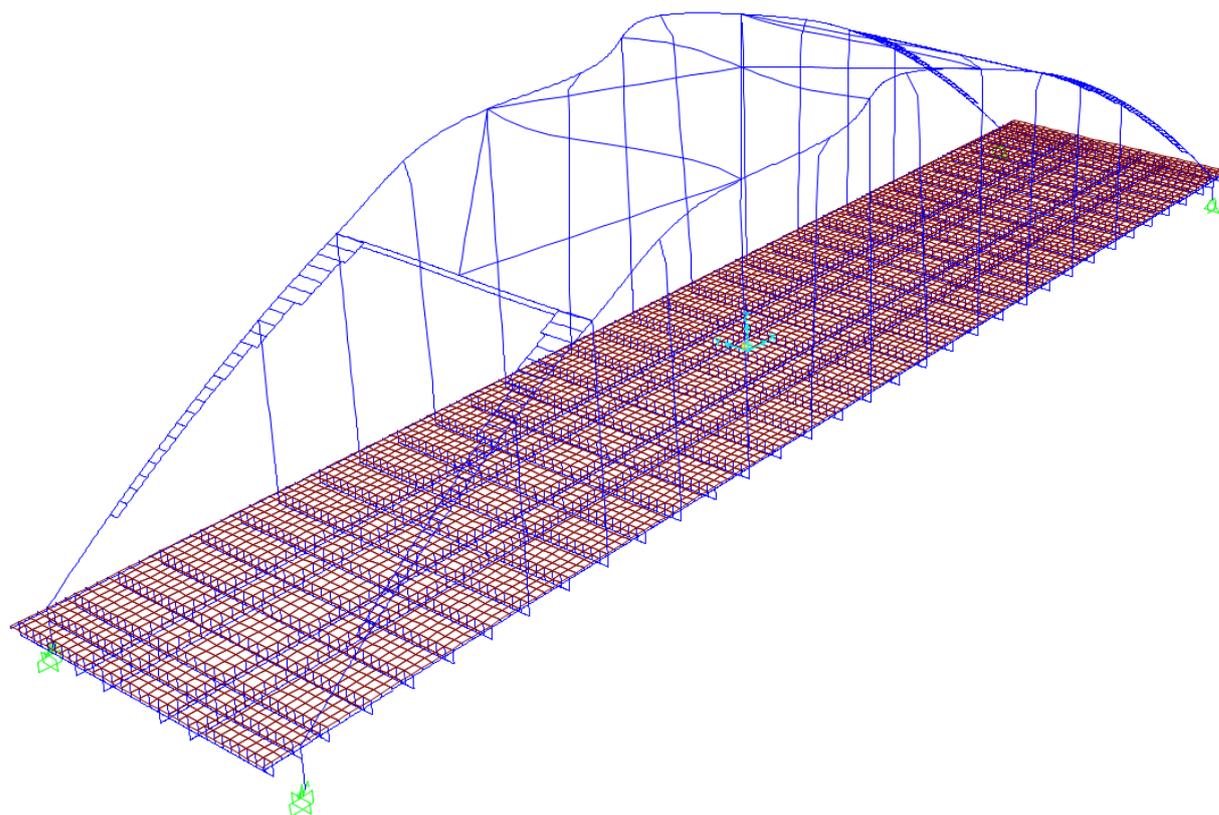


**8.2.3 Combinazione c)**

Relativamente alla condizione di carico c) si è valutato un moltiplicatore di carico pari a:

$$\alpha_c = 13.54$$

corrispondente al modo di buckling globale del ponte riportato nella figura seguente:



 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>77</b> di 122

### 8.3 VERIFICA DI SICUREZZA

In base a quanto definito nelle norme EC 1993-1-1 sezione 5.2.1, al fine di non dover condurre ulteriori analisi plastiche per la valutazione della stabilità globale dell'opera, il più piccolo moltiplicatore di carico  $\alpha$  valutato nelle analisi condotte dovrà risultare superiore ad un valore critico definito come

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{ED}} \geq 10$$

Poiché' il valore minimo tra I moltiplicatori di carico calcolati, corrispondente a  $\alpha_b = 13.38$ , valutato per la combinazione di carico b), risulta

## 9 Verifiche SLU

Si riportano di seguito le verifiche agli stati limite ultimi condotte sugli elementi strutturali principali (archi e travi) e sugli elementi secondari (trasversi, longherine e piastra). Le sollecitazioni sono state calcolate considerando gli opportuni coefficienti di amplificazione dinamica dei carichi da traffico per le verifiche degli elementi longitudinali e trasversali valutati nel capitolo "Analisi dinamica". Le verifiche sono altresì condotte in base alle sollecitazioni calcolate mediante modello agli elementi finiti del ponte nel quale si è ritenuto assente il contributo strutturale della piastra di impalcato.

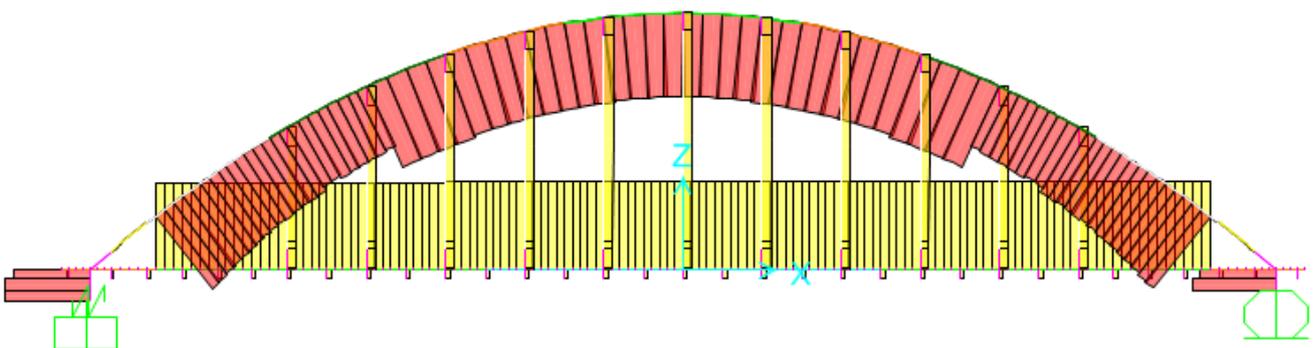
### 9.1 Stato di Sollecitazione

Si riportano di seguito i diagrammi delle sollecitazioni su arco e trave.

#### 9.1.1 Pesì propri strutturali e permanenti portati

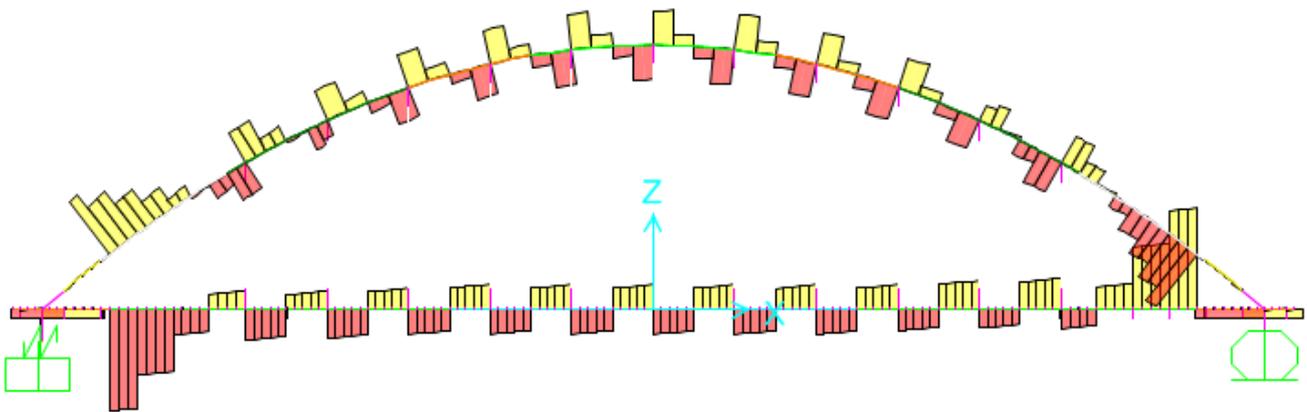
**Sforzo Assiale:**

$$P_{\max}=8907 \text{ kN}, P_{\min}=-9285 \text{ kN}$$



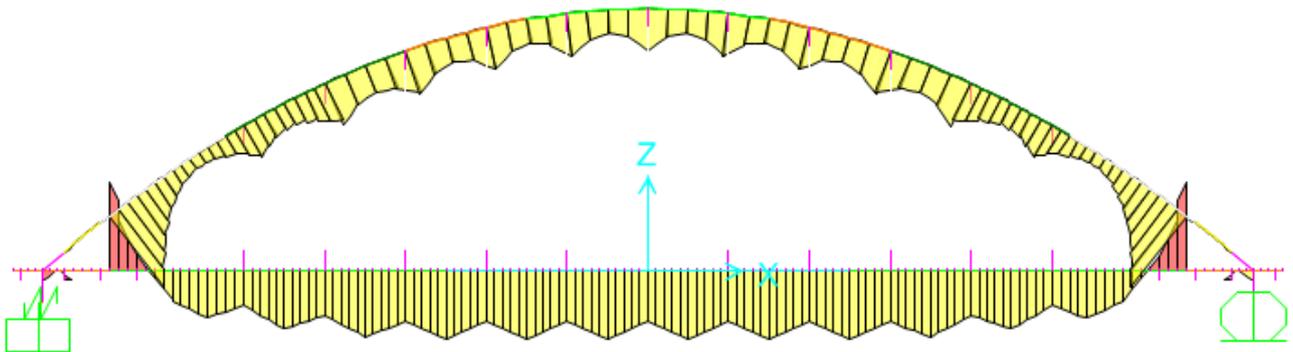
**Taglio:**

$V_{2_{max}}=1005 \text{ kN}$ ,  $V_{2_{min}}=-1003 \text{ kN}$



**Momento:**

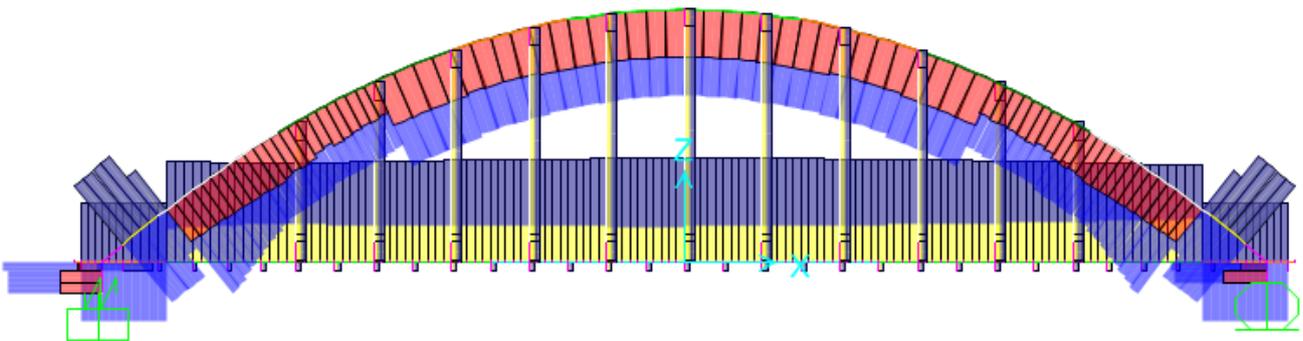
$M_{3_{max}}=2254 \text{ kNm}$ ,  $M_{3_{min}}=-2189 \text{ kNm}$



### 9.1.2 Involuppo Azioni da Traffico:

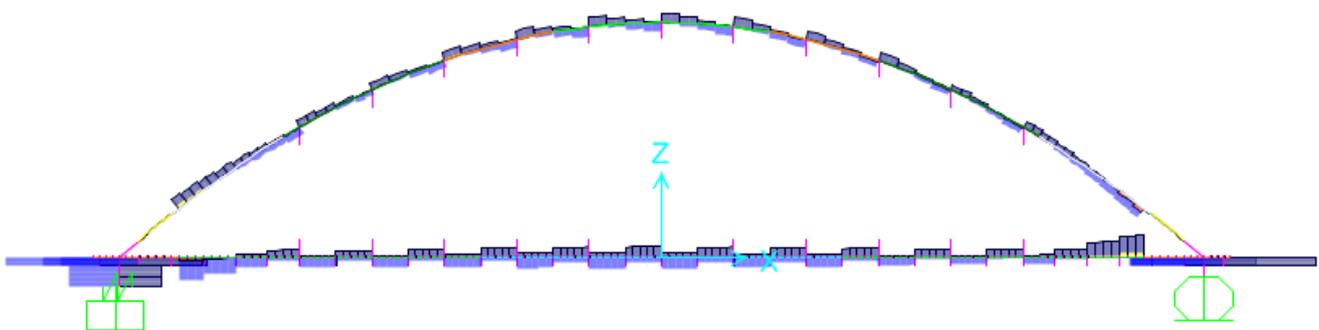
#### Sforzo Assiale:

$P_{max}=17930$  kN,  $P_{min}=-18414$  kN



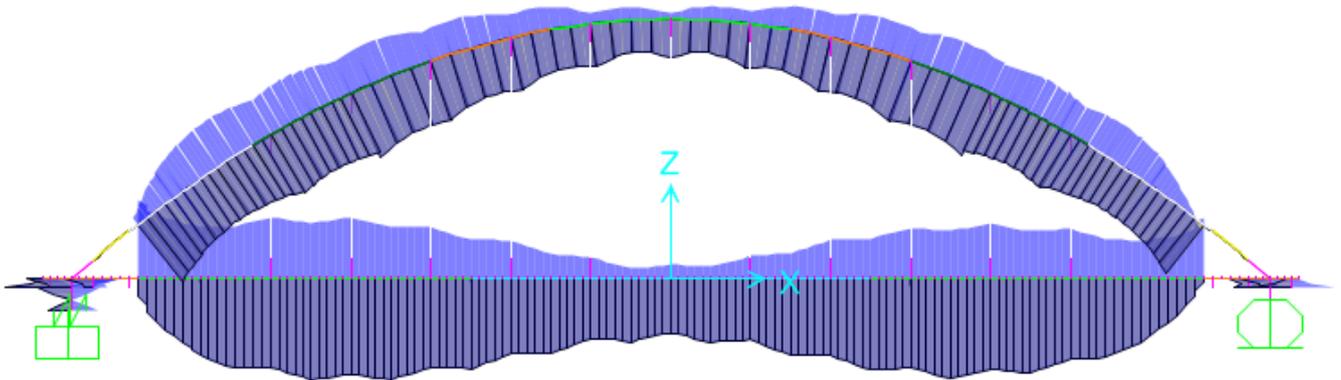
#### Taglio:

$V_{2max}=10280$  kN,  $V_{2min}=-10269$  kN



**Momento:**

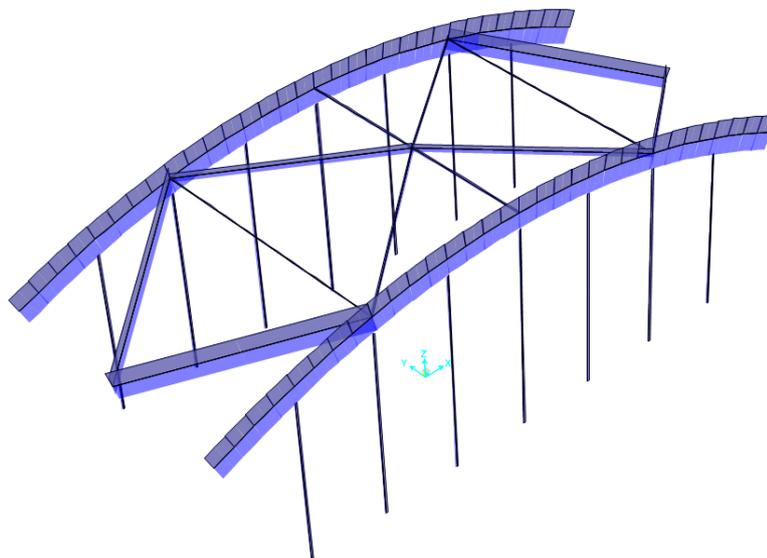
$M_{3_{max}}=10168 \text{ kNm}$  ,  $M_{3_{min}}=-7866 \text{ kNm}$



**9.1.3 Sisma in direzione trasversale**

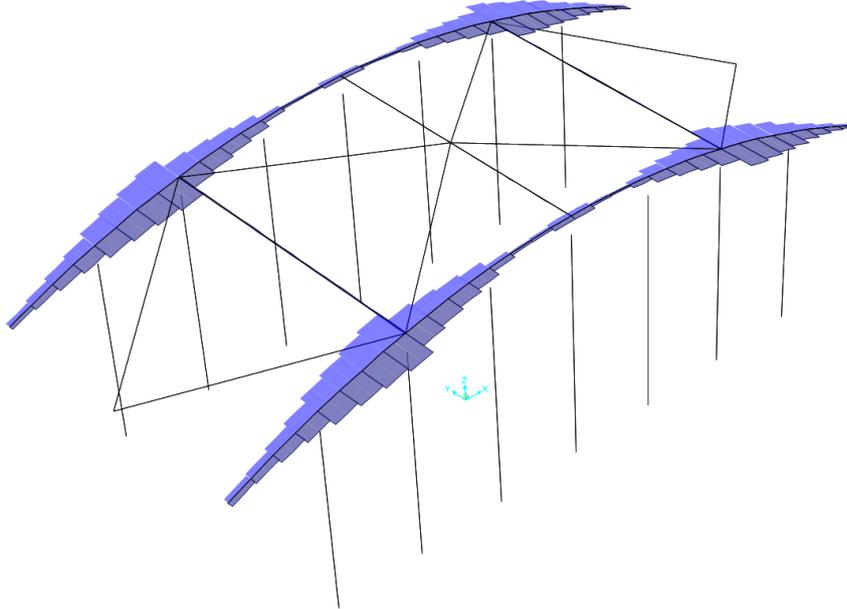
**Sforzo Assiale:**

$P_{max}= 876.1 \text{ kN}$  ,  $P_{min}= -876.1 \text{ kN}$



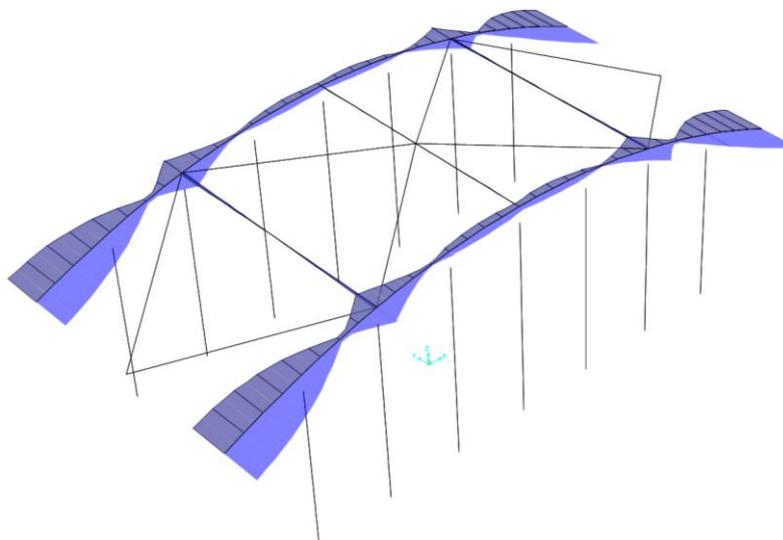
**Taglio:**

$V_{3_{max}}=164.25$  kN,  $V_{3_{min}}=-164.25$  kN

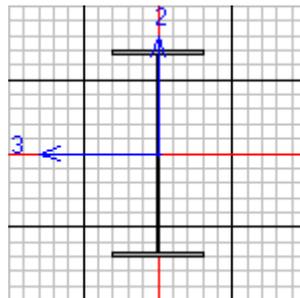
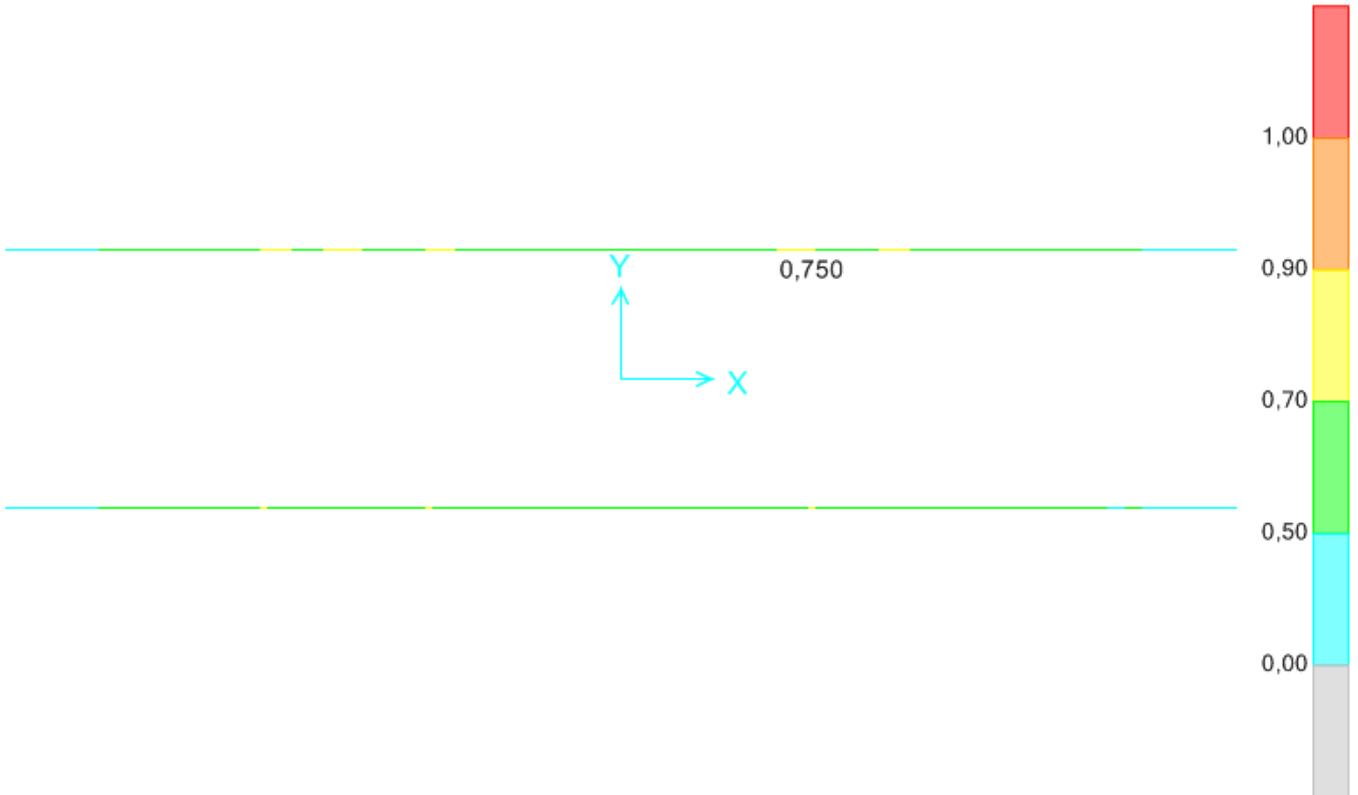


**Momento:**

$M_{2_{max}}= 469.85$  kNm ,  $M_{2_{min}}=-469.85$  kNm



**9.2 Travi**



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : Trave-2-10X Mid: 9,800  
Length: 0,400 Y Mid: 6,660  
Loc : 0,400 Z Mid: 0,000

Combo: SLU-TRAFF  
Shape: TraveCorr1  
Class: Class 4

Design Type: Beam  
Frame Type: DCL-MRF  
Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B)  
Ignore Seismic Code? No

MultiResponse=Envelopes  
Ignore Special EQ Load? No

P-Delta Done? No  
D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05  
q=1,00  
An/Ag=1,00

GammaM1=1,05  
Omega=1,00  
RLLF=1,000

GammaM2=1,25  
GammaOV=1,07  
PLLF=0,750

D/C Lim=0,990

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.  
IN0D00DI2CLVI0007003B

Pag.  
84 di 122

Aeff=0,136	eNy=0,000	eNz=0,000		
A=0,136	Iyy=0,086	iyz=0,797	Wel,yy=0,082	Weff,yy=0,080
It=5,884E-05	Izz=0,004	izz=0,164	Wel,zz=0,008	Weff,zz=0,007
Iw=0,004	Iyz=0,000	h=2,100	Wpl,yy=0,098	Av,z=0,054
E=210000000,0	fy=355000,000	fu=510000,000	Wpl,zz=0,013	Av,y=0,082

**STRESS CHECK FORCES & MOMENTS**

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,400	17749,156	9225,744	-58,312	-1011,117	20,616	2,126

**PMM DEMAND/CAPACITY RATIO**

Governing	Total	N	MMajor	MMinor	Ratio	Status
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check
6.2.9.3(2)	0,750	= 0,387	+ 0,340	+ 0,023	0,990	OK

**AXIAL FORCE DESIGN**

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	17749,156	45845,714	45845,714

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	45845,714	49792,320	76607579,3	76607579,3	1,000

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0,340	1115962758	0,007	0,467	1,000	45845,714
MajorB (y-y)	b	0,340	1115962758	0,007	0,467	1,000	45845,714
Minor (z-z)	c	0,490	47357742,3	0,032	0,459	1,000	45845,714
MinorB (z-z)	c	0,490	47357742,3	0,032	0,459	1,000	45845,714
Torsional TF	c	0,490	76607579,3	0,025	0,457	1,000	45845,714

**MOMENT DESIGN**

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	9225,744	9225,744	27139,349	27139,349	22176,476	27139,349
Minor (z-z)	-58,312	-58,312	2529,425	2529,425	2529,425	

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0,760	0,024	0,433	1,000	1,013	49676198,6

	kyy	kyz	kzy	kzz
Factors	1,000	1,000	1,000	1,000

**SHEAR DESIGN**

	Ved	Vc,Rd	Stress	Status	Ted
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion
Major (z)	1011,117	15928,262	0,063	OK	2,126
Minor (y)	20,616	10540,761	0,002	OK	2,126

	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
Reduction	15928,262	1,000	0,725

**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

	VMajor	VMajor
	Left	Right
Major (V2)	1017,707	1011,117

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.  
IN0D00DI2CLVI0007003B

Pag.  
85 di 122

Frame : Trave-2-10X Mid: 9,800  
Length: 0,400 Y Mid: 6,660  
Loc : 0,400 Z Mid: 0,000

Combo: SLU-TRAFF  
Shape: TraveCorr1  
Class: Class 4

Design Type: Beam  
Frame Type: DCL-MRF  
Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B)  
Ignore Seismic Code? No

MultiResponse=Envelopes  
Ignore Special EQ Load? No

P-Delta Done? No  
D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05      GammaM1=1,05      GammaM2=1,25  
q=1,00              Omega=1,00          GammaOV=1,07  
An/Ag=1,00          RLLF=1,000          PLLF=0,750          D/C Lim=0,990

Aeff=0,136          eNy=0,000          eNz=0,000  
A=0,136              Iyy=0,086          iyy=0,797          Wel,yy=0,082          Weff,yy=0,080  
It=5,884E-05        Izz=0,004          izz=0,164          Wel,zz=0,008          Weff,zz=0,007  
Iw=0,004            Iyz=0,000          h=2,100            Wpl,yy=0,098          Av,z=0,054  
E=210000000,0      fy=355000,000      fu=510000,000      Wpl,zz=0,013          Av,y=0,082

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,400	17749,156	9225,744	-58,312	-1011,117	20,616	2,126

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0,750	= 0,387	+ 0,340	+ 0,023	0,990	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1,000	1,000	0,502
Major Braced	1,000	1,000	0,502
Minor (z-z)	1,000	1,000	2,436
Minor Braced	1,000	1,000	2,436
LTB	1,000	1,000	2,436

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	17749,156	45845,714	45845,714

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	45845,714	49792,320	76607579,3	76607579,3	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0,340	1115962758	0,007	0,467	1,000	45845,714
MajorB(y-y)	b 0,340	1115962758	0,007	0,467	1,000	45845,714
Minor (z-z)	c 0,490	47357742,3	0,032	0,459	1,000	45845,714
MinorB(z-z)	c 0,490	47357742,3	0,032	0,459	1,000	45845,714
Torsional TF	c 0,490	76607579,3	0,025	0,457	1,000	45845,714

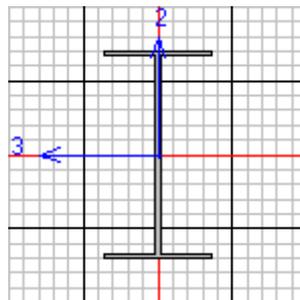
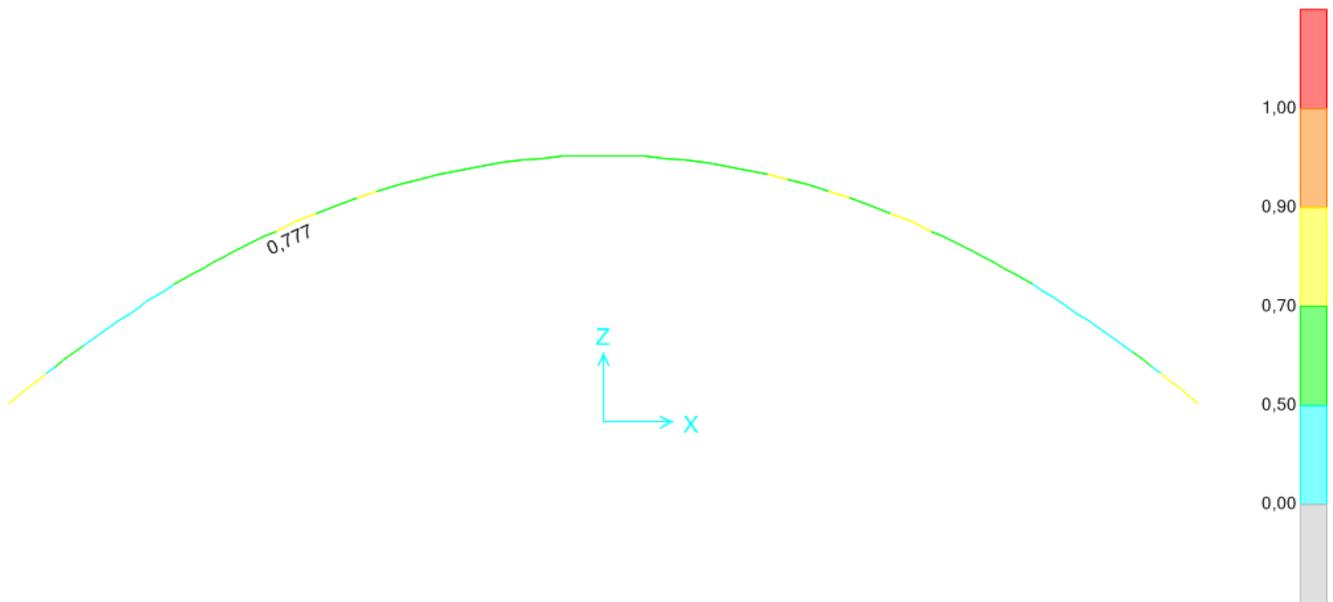
MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	9225,744	9225,744	27139,349	27139,349	22176,476	27139,349
Minor (z-z)	-58,312	-58,312	2529,425	2529,425	2529,425	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 4	Class 4	Class 1	0,814	0,194	-1,737

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	d	0,760	0,024	0,433	1,000	1,013	49676198,6
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

**9.3 Arco**



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : Arcol-81	X Mid: -15,500	Combo: SLU-TRAFF	Design Type: Brace
Length: 1,097	Y Mid: 6,660	Shape: ArcoCorrA2	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0,000	Z Mid: 9,581	Class: Class 3	Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B)	MultiResponse=Envelopes	P-Delta Done? No
Ignore Seismic Code? No	Ignore Special EQ Load? No	D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05      GammaM1=1,05      GammaM2=1,25  
q=1,00              Omega=1,00          GammaOV=1,07  
An/Ag=1,00          RLLF=1,000          PLLF=0,750          D/C Lim=0,990

Aeff=0,139          eNy=0,000          eNz=0,000  
A=0,139              Iyy=0,068          iyy=0,701          Wel,yy=0,078          Weff,yy=0,078  
It=7,241E-05        Izz=0,005          izz=0,187          Wel,zz=0,011          Weff,zz=0,011  
Iw=0,004            Iyz=0,000          h=1,750            Wpl,yy=0,089          Av,z=0,072  
E=210000000,0      fy=355000,000      fu=510000,000      Wpl,zz=0,017          Av,y=0,067

#### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,000	-15962,556	7064,872	614,902	743,067	76,750	-31,379

#### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3 (4)-6.61	0,777	= 0,340	+ 0,273	+ 0,164	0,990	OK

#### AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	-15962,556	46927,619	46927,619	46927,619	50967,360	11666484,35	11666484,35	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0,340	7576716,599	0,081	0,483	1,000	46927,619
MajorB (y-y)	b 0,340	7576716,599	0,081	0,483	1,000	46927,619
Minor (z-z)	c 0,490	8389737,212	0,077	0,473	1,000	46927,619
MinorB (z-z)	c 0,490	8389737,212	0,077	0,473	1,000	46927,619
Torsional TF	c 0,490	11666484,35	0,065	0,469	1,000	46927,619

#### MOMENT DESIGN

Major (y-y)	Med Moment	Med, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	7064,872	7064,872	26339,851	26339,851	22887,883	26339,851
Minor (z-z)	614,902	614,902	3658,120	3658,120	3658,120	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	c	0,490	0,061	0,468	1,000	1,037	7441325,918

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	1,016	0,974	0,998	0,974

#### SHEAR DESIGN

Major (z)	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	743,067	13039,312	0,057	OK	2,909
Minor (y)	76,750	14054,349	0,005	OK	2,909

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
	13039,312	1,000	0,594

#### BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

Axial	P Comp	P Tens
	-15962,556	N/C

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : Arco1-81 X Mid: -15,500 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Brace  
Length: 1,097 Y Mid: 6,660 Shape: ArcoCorrA2 Frame Type: DCL-MRF  
Loc : 0,000 Z Mid: 9,581 Class: Class 3 Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
q=1,00 Omega=1,00 GammaOV=1,07  
An/Ag=1,00 RLLF=1,000 PLLF=0,750 D/C Lim=0,990

Aeff=0,139 eNy=0,000 eNz=0,000  
A=0,139 Iyy=0,068 iyy=0,701 Wel,yy=0,078 Weff,yy=0,078  
It=7,241E-05 Izz=0,005 izz=0,187 Wel,zz=0,011 Weff,zz=0,011  
Iw=0,004 Iyz=0,000 h=1,750 Wpl,yy=0,089 Av,z=0,072  
E=210000000,0 fy=355000,000 fu=510000,000 Wpl,zz=0,017 Av,y=0,067

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,000	-15962,556	7064,872	614,902	743,067	76,750	-31,379

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.61	0,777	= 0,340	+ 0,273	+ 0,164	0,990	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1,000	3,937	6,162
Major Braced	1,000	3,937	6,162
Minor (z-z)	1,000	1,000	5,856
Minor Braced	1,000	1,000	5,856
LTB	1,000	1,000	5,856

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	-15962,556	46927,619	46927,619	46927,619	50967,360	11666484,35	11666484,35	1,000

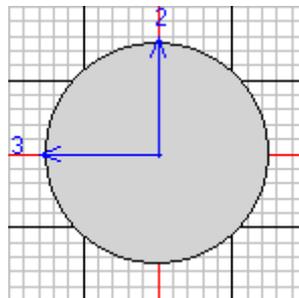
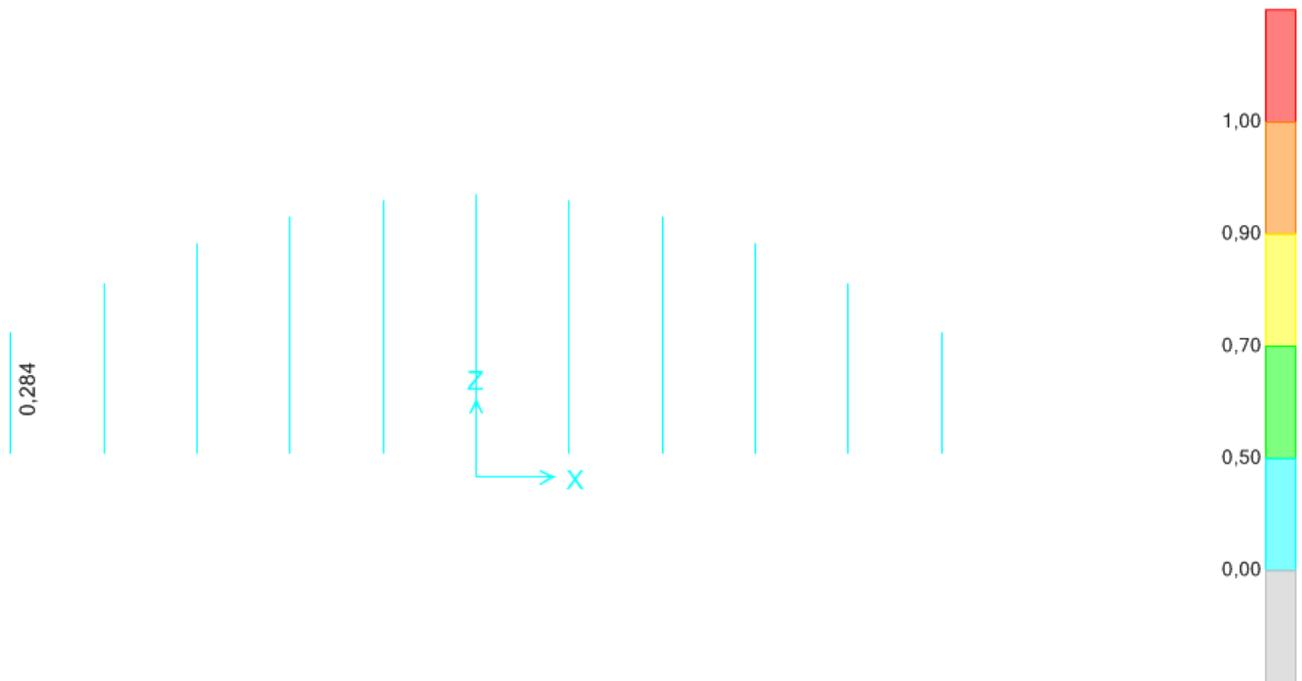
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0,340	7576716,599	0,081	0,483	1,000	46927,619
MajorB(y-y)	b 0,340	7576716,599	0,081	0,483	1,000	46927,619
Minor (z-z)	c 0,490	8389737,212	0,077	0,473	1,000	46927,619
MinorB(z-z)	c 0,490	8389737,212	0,077	0,473	1,000	46927,619
Torsional TF	c 0,490	11666484,35	0,065	0,469	1,000	46927,619

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	7064,872	7064,872	26339,851	26339,851	22887,883	26339,851
Minor (z-z)	614,902	614,902	3658,120	3658,120	3658,120	

Compactness	Section Class 3	Flange Class 3	Web Class 3	Epsilon 0,814	Alpha 0,837	Psi -0,352	
LTB	Curve c	AlphaLT 0,490	LambdaBarLT 0,061	PhiLT 0,468	ChiLT 1,000	C1 1,037 7441325,918	Mcr
Factors	Cmy 1,000	Cmz 0,959	CmLT 0,964	kyy 1,016	kyz 0,974	kzy 0,998	kzz 0,974

### 9.4 Pendini



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : Pendino2-5X Mid: -16,000 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Column  
Length: 6,990 Y Mid: 6,660 Shape: Pendino2 Frame Type: DCL-MRF  
Loc : 6,990 Z Mid: 4,895 Class: Class 2 Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
q=1,00 Omega=1,00 GammaOV=1,13  
An/Ag=1,00 RLLF=1,000 PLLF=0,750 D/C Lim=0,990

Aeff=0,020 eNy=0,000 eNz=0,000  
A=0,020 Iyy=3,217E-05 iyy=0,040 Wel,yy=4,021E-04 Weff,yy=4,021E-04  
It=6,434E-05 Izz=3,217E-05 izz=0,040 Wel,zz=4,021E-04 Weff,zz=4,021E-04  
Iw=0,000 Iyz=0,000 h=0,160 Wpl,yy=6,827E-04 Av,z=0,018  
E=210000000,0 fy=335000,000 fu=490000,000 Wpl,zz=6,827E-04 Av,y=0,018

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
6,990	1823,196	0,000	0,000	0,000	0,000	1,383

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.1(7)	0,284	= 0,284	+ 0,000	+ 0,000	0,990	OK

### AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	1823,196	6414,833	6414,833	6414,833	7093,465	1623961,741	1364,672	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
MajorB (y-y)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
Minor (z-z)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
MinorB (z-z)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
Torsional TF	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216

### MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	0,000	0,000	217,803	217,803	217,803	217,803
Minor (z-z)	0,000	0,000	217,803	217,803	217,803	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d 0,760	0,293	0,578	0,929	1,000	2663,036

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	1,000	0,600	0,600	1,000

### SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	0,000	3333,243	0,000	OK	1,383
Minor (y)	0,000	3333,243	0,000	OK	1,383

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
	3333,243	1,000	0,000

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.  
IN0D00DI2CLVI0007003B

Pag.  
91 di 122

Frame : Pendino2-5X Mid: -16,000      Combo: SLU-TRAFF      Design Type: Column  
Length: 6,990      Y Mid: 6,660      Shape: Pendino2      Frame Type: DCL-MRF  
Loc : 6,990      Z Mid: 4,895      Class: Class 2      Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B)      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No  
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05      GammaM1=1,05      GammaM2=1,25  
q=1,00      Omega=1,00      GammaOV=1,13  
An/Ag=1,00      RLLF=1,000      PLLF=0,750      D/C Lim=0,990

Aeff=0,020      eNy=0,000      eNz=0,000  
A=0,020      Iyy=3,217E-05      iyy=0,040      Wel,yy=4,021E-04      Weff,yy=4,021E-04  
It=6,434E-05      Izz=3,217E-05      izz=0,040      Wel,zz=4,021E-04      Weff,zz=4,021E-04  
Iw=0,000      Iyz=0,000      h=0,160      Wpl,yy=6,827E-04      Av,z=0,018  
E=210000000,0      fy=335000,000      fu=490000,000      Wpl,zz=6,827E-04      Av,y=0,018

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
6,990	1823,196	0,000	0,000	0,000	0,000	1,383

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.1(7)	0,284	= 0,284	+ 0,000	+ 0,000	0,990	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1,000	1,000	174,747
Major Braced	1,000	1,000	174,747
Minor (z-z)	1,000	1,000	174,747
Minor Braced	1,000	1,000	174,747
LTB	1,000	1,000	174,747

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	1823,196	6414,833	6414,833

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	6414,833	7093,465	1623961,741	1364,672	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
MajorB(y-y)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
Minor (z-z)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
MinorB(z-z)	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216
Torsional TF	c 0,490	1364,672	2,222	3,463	0,163	1048,216

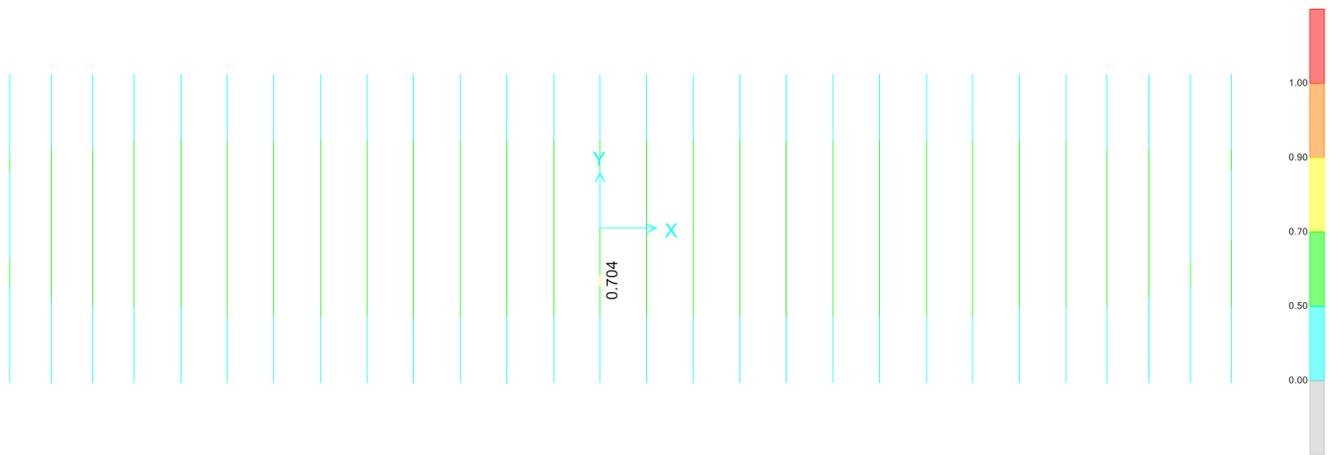
MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	0,000	0,000	217,803	217,803	217,803	217,803
Minor (z-z)	0,000	0,000	217,803	217,803	217,803	

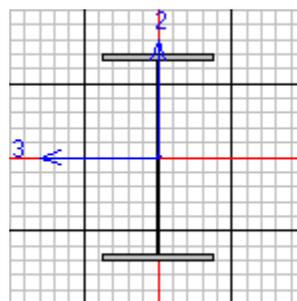
Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 2	Class 2	Class 2	0,838	1,000E-06	-1,541

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	d	0,760	0,293	0,578	0,929	1,000	2663,036
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyy	kzy	kzz
	1,000	1,000	1,000	1,000	0,600	0,600	1,000

### 9.5 Trasversi



Si riporta la verifica del trasverso maggiormente sollecitato:



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : TRINC-341	X Mid: 0.000	Combo: SLU-TRAFF	Design Type: Beam
Length: 0.505	Y Mid: -2.243	Shape: Trasverso	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.505	Z Mid: -0.480	Class: Class 3	Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B)      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No

GammaM0=1.05      GammaM1=1.05      GammaM2=1.25

An/Ag=1.00      RLLF=1.000      PLLF=0.750      D/C Lim=0.990

Aeff=0.056	eNy=0.000	eNz=0.000		
A=0.056	Iyy=0.011	iyz=0.444	Wel, yy=0.021	Weff, yy=0.021
It=1.307E-05	Izz=0.001	izz=0.139	Wel, zz=0.004	Weff, zz=0.004
Iw=2.811E-04	Iyz=0.000	h=1.050	Wpl, yy=0.023	Av, z=0.036
E=210000000.0	fy=355000.000	fu=510000.000	Wpl, zz=0.005	Av, y=0.020

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med, yy	Med, zz	Ved, z	Ved, y	Ted
0.505	-106.671	4850.896	15.635	-1.457	35.692	-2.660

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.1 (7), 6.2.9.	0.704	= 0.006	+ 0.686	+ 0.013	0.990	OK

### AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc, Rd Capacity	Nt, Rd Capacity				
Axial	-106.671	18865.714	18865.714				
	Npl, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag		
	18865.714	20489.760	10570722.58	10570722.58	1.000		
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd	
Major (y-y)	b 0.340	89263858.2	0.015	0.469	1.000	18865.714	
MajorB (y-y)	b 0.340	89263858.2	0.015	0.469	1.000	18865.714	
Minor (z-z)	c 0.490	8782645.644	0.047	0.464	1.000	18865.714	
MinorB (z-z)	c 0.490	8782645.644	0.047	0.464	1.000	18865.714	
Torsional TF	c 0.490	10570722.58	0.043	0.463	1.000	18865.714	

### MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Moment	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	4850.896	4850.896	7073.252	7073.252	7073.252	7073.252
Minor (z-z)	15.635	15.635	1217.887	1217.887	1217.887	
Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	c 0.490	0.040	0.462	1.000	1.044	4675351.735
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz		
	0.958	0.838	1.000	0.838		

### SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc, Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	1022.906	3864.946	0.265	OK	2.671
Minor (y)	35.692	7027.174	0.005	OK	2.671
Reduction	Vpl, Rd	Eta	LambdabarW		
	3864.946	1.000	0.704		

### CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor Left	VMajor Right
Major (V2)	1026.400	1022.906

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

**1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO**

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN  
STRUTTURA METALLICA - ARCO

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.  
IN0D00DI2CLVI0007003B

Pag.  
**94** di 122

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : TRINC-341 X Mid: 0.000 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Beam  
Length: 0.505 Y Mid: -2.243 Shape: Trasverso Frame Type: DCL-MRF  
Loc : 0.505 Z Mid: -0.480 Class: Class 3 Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No

GammaM0=1.05 GammaM1=1.05 GammaM2=1.25  
An/Ag=1.00 RLLF=1.000 PLLF=0.750 D/C Lim=0.990

Aeff=0.056 eNy=0.000 eNz=0.000  
A=0.056 Iyy=0.011 iyy=0.444 Wel,yy=0.021 Weff,yy=0.021  
It=1.307E-05 Izz=0.001 izz=0.139 Wel,zz=0.004 Weff,zz=0.004  
Iw=2.811E-04 Iyz=0.000 h=1.050 Wpl,yy=0.023 Av,z=0.036  
E=210000000.0 fy=355000.000 fu=510000.000 Wpl,zz=0.005 Av,y=0.020

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.505	-106.671	4850.896	15.635	-1.457	35.692	-2.660

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.1 (7), 6.2.9.	0.704	= 0.006	+ 0.686	+ 0.013	0.990	OK

### BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1.000	1.000	1.138
Major Braced	1.000	1.000	1.138
Minor (z-z)	1.000	1.000	3.629
Minor Braced	1.000	1.000	3.629
LTB	1.000	1.000	3.629

### AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	-106.671	18865.714	18865.714

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	18865.714	20489.760	10570722.58	10570722.58	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0.340	89263858.2	0.015	0.469	1.000	18865.714
MajorB(y-y)	b 0.340	89263858.2	0.015	0.469	1.000	18865.714
Minor (z-z)	c 0.490	8782645.644	0.047	0.464	1.000	18865.714
MinorB(z-z)	c 0.490	8782645.644	0.047	0.464	1.000	18865.714
Torsional TF	c 0.490	10570722.58	0.043	0.463	1.000	18865.714

### MOMENT DESIGN

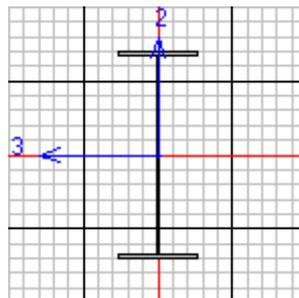
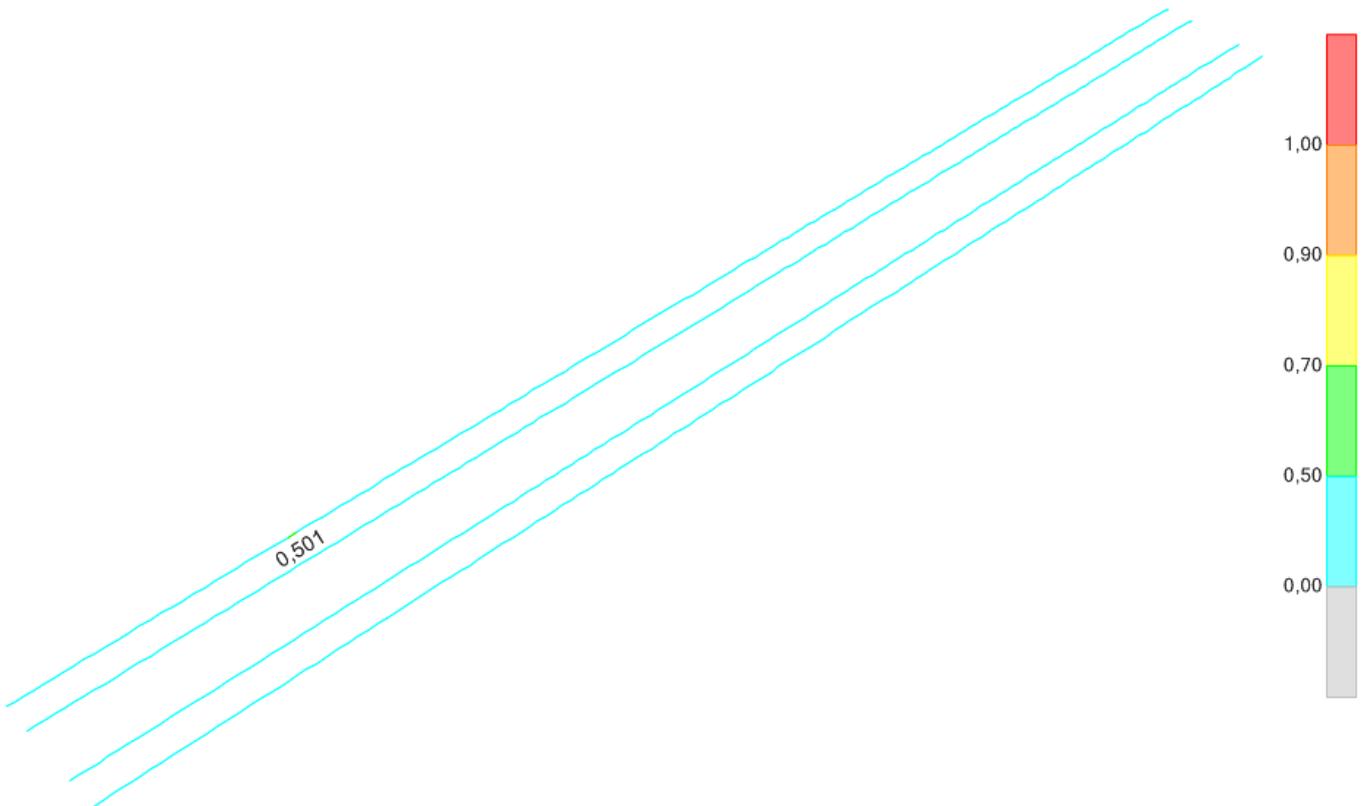
	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	4850.896	4850.896	7073.252	7073.252	7073.252	7073.252
Minor (z-z)	15.635	15.635	1217.887	1217.887	1217.887	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 3	Class 3	Class 1	0.814	0.508	-0.989

LTB	Curve c	AlphaLT 0.490	LambdaBarLT 0.040	PhiLT 0.462	ChiLT 1.000	C1 1.044	Mcr 4675351.735
Factors	Cmy 0.958	Cmz 0.838	CmLT 0.958	kyy 0.958	kyz 0.838	kzy 1.000	kzz 0.838

## 9.6 Longherine

Nel seguente grafico si riporta il rapporto tra l'azione di calcolo e la resistenza ultima dell'elemento nella combinazione più gravosa.



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : LONG1-27 X Mid: -19,800 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Beam  
Length: 0,400 Y Mid: 3,000 Shape: Longherina2 Frame Type: DCL-MRF  
Loc : 0,400 Z Mid: -0,480 Class: Class 3 Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
q=1,00 Omega=1,00 GammaOV=1,07  
An/Ag=1,00 RLLF=1,000 PLLF=0,750 D/C Lim=0,990

Aeff=0,028 eNy=0,000 eNz=0,000  
A=0,028 Iyy=0,004 iyy=0,389 Wel,yy=0,009 Weff,yy=0,009  
It=2,893E-06 Izz=1,558E-04 izz=0,074 Wel,zz=8,655E-04 Weff,zz=8,655E-04  
Iw=3,545E-05 Iyz=0,000 h=0,974 Wpl,yy=0,010 Av,z=0,014  
E=210000000,0 fy=355000,000 fu=510000,000 Wpl,zz=0,001 Av,y=0,014

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,400	0,000	999,281	-10,212	-572,195	21,466	-0,705

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.62	0,501	= 0,000	+ 0,357	+ 0,143	0,990	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	0,000	9605,286	9605,286	9605,286	10432,152	118714,514	118714,514	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0,340	55641645,3	0,013	0,468	1,000	9605,286
MajorB (y-y)	b 0,340	55641645,3	0,013	0,468	1,000	9605,286
Minor (z-z)	c 0,490	80719,459	0,353	0,600	0,922	8852,872
MinorB (z-z)	c 0,490	80719,459	0,353	0,600	0,922	8852,872
Torsional TF	c 0,490	118714,514	0,291	0,565	0,953	9158,598

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	999,281	999,281	2982,023	2982,023	2982,023	2797,921
Minor (z-z)	-10,212	-41,979	292,608	292,608	292,608	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d 0,760	0,280	0,570	0,938	1,029	39880,619

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,971	1,000	1,000	1,000

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	572,195	2562,550	0,223	OK	2,121
Minor (y)	133,511	2810,870	0,047	OK	2,121
	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW		
Reduction	2734,742	1,000	0,886		

**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

	VMajor Left	VMajor Right	
Major (V2)	600,633	572,195	

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : LONG1-27 X Mid: -19,800 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Beam  
Length: 0,400 Y Mid: 3,000 Shape: Longherina2 Frame Type: DCL-MRF  
Loc : 0,400 Z Mid: -0,480 Class: Class 3 Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
q=1,00 Omega=1,00 GammaOV=1,07  
An/Ag=1,00 RLLF=1,00 PLLF=0,750 D/C Lim=0,990

Aeff=0,028 eNy=0,000 eNz=0,000  
A=0,028 Iyy=0,004 iyy=0,389 Wel,yy=0,009 Weff,yy=0,009  
It=2,893E-06 Izz=1,558E-04 izz=0,074 Wel,zz=8,655E-04 Weff,zz=8,655E-04  
Iw=3,545E-05 Iyz=0,000 h=0,974 Wpl,yy=0,010 Av,z=0,014  
E=210000000,0 fy=355000,000 fu=510000,000 Wpl,zz=0,001 Av,y=0,014

**STRESS CHECK FORCES & MOMENTS**

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,400	0,000	999,281	-10,212	-572,195	21,466	-0,705

**PMM DEMAND/CAPACITY RATIO**

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.62	0,501	= 0,000	+ 0,357	+ 0,143	0,990	OK

**BASIC FACTORS**

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1,000	1,000	1,029
Major Braced	1,000	1,000	1,029
Minor (z-z)	1,000	5,000	27,009
Minor Braced	1,000	5,000	27,009
LTB	1,000	5,000	27,009

**AXIAL FORCE DESIGN**

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	0,000	9605,286	9605,286

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	9605,286	10432,152	118714,514	118714,514	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd

Major (y-y)	b	0,340	55641645,3	0,013	0,468	1,000	9605,286
MajorB(y-y)	b	0,340	55641645,3	0,013	0,468	1,000	9605,286
Minor (z-z)	c	0,490	80719,459	0,353	0,600	0,922	8852,872
MinorB(z-z)	c	0,490	80719,459	0,353	0,600	0,922	8852,872
Torsional TF	c	0,490	118714,514	0,291	0,565	0,953	9158,598

### MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Moment	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	999,281	999,281	2982,023	2982,023	2982,023	2797,921
Minor (z-z)	-10,212	-41,979	292,608	292,608	292,608	

Compactness	Section Class 3	Flange Class 3	Web Class 2	Epsilon 0,814	Alpha 0,500	Psi -1,000
LTB	Curve d 0,760	AlphaLT 0,280	LambdaBarLT 0,570	PhiLT 0,938	ChiLT 1,029	C1 39880,619

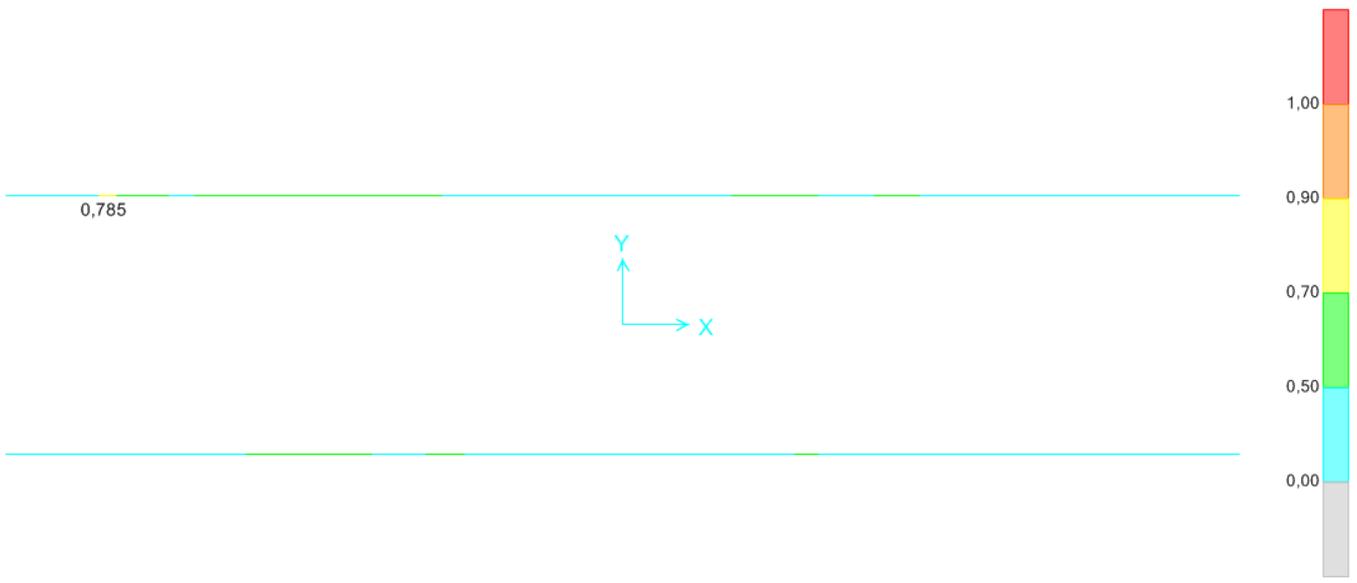
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,971	1,000	1,000	0,971	1,000	1,000	1,000

## 10 ROTTURA DI 3 PENDINI

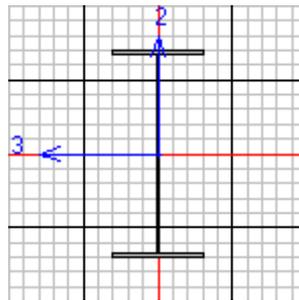
Si è ipotizzata la rottura dei primi tre pendini vicino al binario più sollecitato.

Si riporta la situazione più gravosa per la trave e per l'arco:

- 1) Trave di riva:



0,785



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : Trave-2-13X Mid: -26,453	Combo: SLU-TRAFF	Design Type: Beam
Length: 0,445 Y Mid: 6,660	Shape: TraveCorr2	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0,000 Z Mid: 0,000	Class: Class 4	Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No

GammaM0=1,05	GammaM1=1,05	GammaM2=1,25	
An/Ag=1,00	RLLF=1,000	PLLF=0,750	D/C Lim=0,990

Aeff=0,144	eNy=0,000	eNz=0,000		
A=0,144	Iyy=0,095	iy=0,812	Wel,yy=0,091	Weff,yy=0,090
It=6,786E-05	Izz=0,004	izz=0,172	Wel,zz=0,009	Weff,zz=0,009
Iw=0,005	Iyz=0,000	h=2,100	Wpl,yy=0,106	Av,z=0,063
E=210000000,0	fy=355000,000	fu=510000,000	Wpl,zz=0,015	Av,y=0,081

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,000	13377,630	-14496,968	105,873	-2086,920	-16,512	3,440

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

# Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.  
IN0D00DI2CLVI0007003B

Pag.  
101 di 122

Governing Equation	Total Ratio	=	N Ratio	+	MMajor Ratio	+	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0,785		0,274		0,477		0,033	0,990	OK

**AXIAL FORCE DESIGN**

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity		Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
Axial	13377,630	48753,333	48753,333				1,000	
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag			
	48753,333	52950,240	69075426,4	69075426,4	1,000			
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd		
Major (y-y)	b 0,340	994863782,	0,007	0,467	1,000	48753,333		
MajorB(y-y)	b 0,340	994863782,	0,007	0,467	1,000	48753,333		
Minor (z-z)	c 0,490	44621855,8	0,034	0,460	1,000	48753,333		
MinorB(z-z)	c 0,490	44621855,8	0,034	0,460	1,000	48753,333		
Torsional TF	c 0,490	69075426,4	0,027	0,458	1,000	48753,333		

**MOMENT DESIGN**

	Med Moment	Med, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	-14496,968	-14496,968	30388,517	30388,517	29400,114	30388,517
Minor (z-z)	105,873	105,873	3203,134	3203,134	3203,134	
Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d 0,760	0,026	0,434	1,000	1,040	47928130,9
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz		
	1,000	1,000	1,000	1,000		

**SHEAR DESIGN**

	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	3775,098	15850,182	0,238	OK	3,440
Minor (y)	65,351	12297,555	0,005	OK	3,440
Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW		
	15850,182	1,000	0,722		

**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

	VMajor Left	VMajor Right
Major (V2)	3775,098	3769,205

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : Trave-2-13X Mid: -26,453      Combo: SLU-TRAFF      Design Type: Beam  
 Length: 0,445      Y Mid: 6,660      Shape: TraveCorr2      Frame Type: DCL-MRF  
 Loc : 0,000      Z Mid: 0,000      Class: Class 4      Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B)      MultiResponse=Envelopes      P-Delta Done? No

GammaM0=1,05      GammaM1=1,05      GammaM2=1,25  
 An/Ag=1,00      RLLF=1,000      PLLF=0,750      D/C Lim=0,990

Aeff=0,144      eNy=0,000      eNz=0,000  
 A=0,144      Iyy=0,095      iyy=0,812      Wel,yy=0,091      Weff,yy=0,090  
 It=6,786E-05      Izz=0,004      izz=0,172      Wel,zz=0,009      Weff,zz=0,009  
 Iw=0,005      Iyz=0,000      h=2,100      Wpl,yy=0,106      Av,z=0,063

E=210000000,0 fy=355000,000 fu=510000,000 Wpl,zz=0,015 Av,y=0,081

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,000	13377,630	-14496,968	105,873	-2086,920	-16,512	3,440

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0,785	= 0,274	+ 0,477	+ 0,033	0,990	OK

### BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1,000	1,000	0,548
Major Braced	1,000	1,000	0,548
Minor (z-z)	1,000	1,000	2,588
Minor Braced	1,000	1,000	2,588
LTB	1,000	1,000	2,588

### AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	13377,630	48753,333	48753,333	48753,333	52950,240	69075426,4	69075426,4	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0,340	994863782,	0,007	0,467	1,000	48753,333
MajorB(y-y)	b 0,340	994863782,	0,007	0,467	1,000	48753,333
Minor (z-z)	c 0,490	44621855,8	0,034	0,460	1,000	48753,333
MinorB(z-z)	c 0,490	44621855,8	0,034	0,460	1,000	48753,333
Torsional TF	c 0,490	69075426,4	0,027	0,458	1,000	48753,333

### MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	-14496,968	-14496,968	30388,517	30388,517	29400,114	30388,517
Minor (z-z)	105,873	105,873	3203,134	3203,134	3203,134	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 4	Class 4	Class 1	0,814	0,268	-1,523

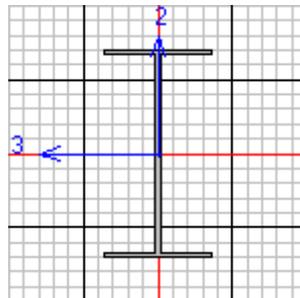
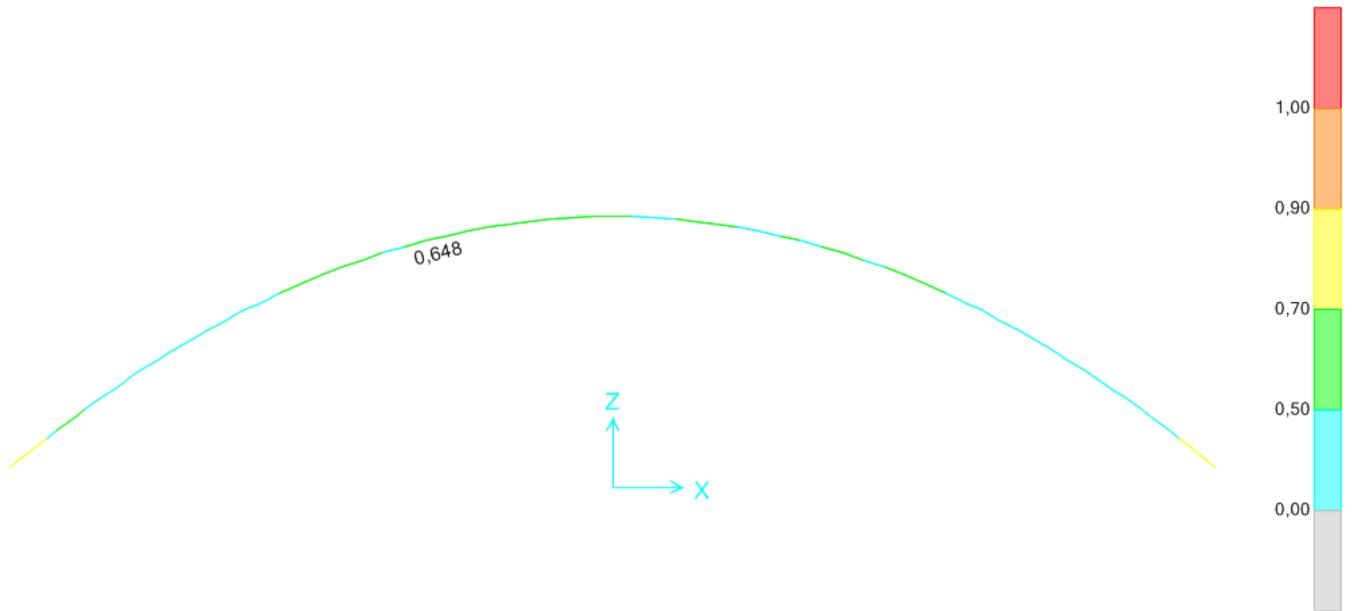
  

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	d	0,760	0,026	0,434	1,000	1,040	47928130,9

Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

## 2) Arco



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : Arco1-88 X Mid: -8,500 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Brace  
Length: 1,030 Y Mid: 6,660 Shape: ArcoCorrA3 Frame Type: DCL-MRF  
Loc : 1,030 Z Mid: 12,022 Class: Class 4 Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
An/Ag=1,00 RLLF=1,000 PLLF=0,750 D/C Lim=0,990

Aeff=0,116 eNy=0,000 eNz=0,000  
A=0,130 Iyy=0,062 iyy=0,691 Wel,yy=0,071 Weff,yy=0,071  
It=6,040E-05 Izz=0,004 izz=0,181 Wel,zz=0,009 Weff,zz=0,009  
Iw=0,003 Iyz=0,000 h=1,750 Wpl,yy=0,082 Av,z=0,063  
E=210000000,0 fy=355000,000 fu=510000,000 Wpl,zz=0,015 Av,y=0,067

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
1,030	-12249,013	7492,965	-68,727	-2357,974	44,154	3,126



A=0,130	Iyy=0,062	iyz=0,691	Wel,yy=0,071	Weff,yy=0,071
It=6,040E-05	Izz=0,004	izz=0,181	Wel,zz=0,009	Weff,zz=0,009
Iw=0,003	Iyz=0,000	h=1,750	Wpl,yy=0,082	Av,z=0,063
E=210000000,0	fy=355000,000	fu=510000,000	Wpl,zz=0,015	Av,y=0,067

### STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
1,030	-12249,013	7492,965	-68,727	-2357,974	44,154	3,126

### PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0,648	= 0,313	+ 0,314	+ 0,021	0,990	OK

### BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1,000	1,000	1,491
Major Braced	1,000	1,000	1,491
Minor (z-z)	1,000	1,000	5,694
Minor Braced	1,000	1,000	5,694
LTB	1,000	1,000	5,694

### AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	-12249,013	39176,107	44020,000	44020,000	47809,440	12012602,96	12012602,96	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0,340	121380936,4	0,018	0,469	1,000	39176,107
MajorB(y-y)	b 0,340	121380936,4	0,018	0,469	1,000	39176,107
Minor (z-z)	c 0,490	8324620,697	0,070	0,471	1,000	39176,107
MinorB(z-z)	c 0,490	8324620,697	0,070	0,471	1,000	39176,107
Torsional TF	c 0,490	12012602,96	0,059	0,467	1,000	39176,107

### MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	7492,965	7492,965	23841,098	23841,098	22942,760	23841,098
Minor (z-z)	-68,727	-68,727	3201,732	3201,732	3201,732	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 4	Class 4	Class 3	0,814	0,757	-0,470

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	c	0,490	0,056	0,466	1,000	1,137	8118436,755

Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,891	0,738	0,891	0,894	0,746	0,998	0,746

## 11 Verifiche SLE

### 11.1 Verifiche deformative

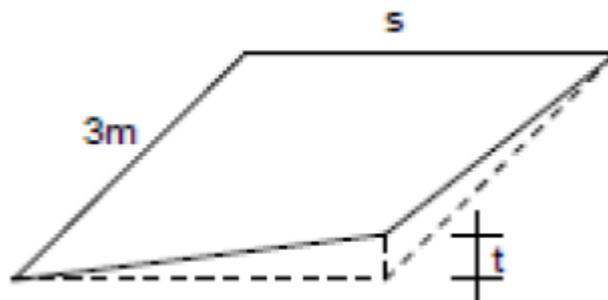
#### 11.1.1 Accelerazioni verticali sull'impalcato

Per la verifiche sulle limitazioni imposte sulle accelerazioni verticali sull'impalcato si rimanda alla sezione Analisi Dinamica.

##### 11.1.1.1 Deformazioni torsionali sull'impalcato

La valutazione dello sghembo massimo si è ottenuta attraverso il calcolo degli spostamenti dei binari, considerati solidali all'impalcato, in presenza dei convogli LM71 ed SW/2, considerando l'opportuno incremento dinamico  $\Phi_2$  e del coefficiente  $\alpha$ .

Poiché la velocità di progetto è superiore a 200 km/h il massimo sghembo ammissibile è 1.5 mm / 3 m.



In particolare, per la velocità di progetto considerata si deve anche garantire che lo sghembo ottenuto dal passaggio dei treni reali, con gli opportuni incrementi dinamici, risulti inferiore a 1.2 mm / 3 m.

Per il ponte il questione il convoglio che induce le deformazioni maggiori è l'SW/2, per cui si riportano i valori dello sghembo ottenuti per quest'ultimo convoglio.

SW2 – binario 1:

$$t_{\max} = 0.192 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

(SW2 – binario 1) + (LM71 - binario 2):

$$t_{\max} = 0.213 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

  <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>107 di 122</b>

LM71 – binario 1:

$$t_{\max} = 0.125 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

(LM71 – binario 1) + (LM71 - binario 2):

$$t_{\max} = 0.221 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

#### 11.1.1.2 Inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato

Le verifiche deformative nel piano orizzontale sono condotte considerando il solo convoglio LM71, opportunamente incrementato dei coefficienti  $\Phi_2$  e  $\alpha$ . In concomitanza con i carichi del convoglio si considerano gli effetti di vento, temperatura, serpeggio e forza centrifuga, combinate secondo la combinazione rara degli stati limite di esercizio.

La variazione angolare ed il raggio di curvatura derivanti dall'inflessione nel piano orizzontale, indotta da queste azioni, devono rispettare i limiti riportati nella seguente tabella.

Velocità [km/h]	Variazione Angolare massima	Raggio minimo di curvatura	
		Singola campata	Più campate
$V \leq 120$	0,0035 rd	1700 m	3500 m
$120 < V \leq 200$	0,0020 rd	6000 m	9500 m
$200 < V$	0,0015 rd	14000 m	17500 m

La verifica risulta soddisfatta in quanto i valori ottenuti dal modello di calcolo rispettano i limiti prescritti:

$$\delta_h = 5.41 \text{ mm} \Rightarrow R = 83195 \text{ m} > 14000 \text{ m}$$

$$\theta_{\max} = 0.0003 \text{ rad} < 0.0015 \text{ rad}$$

#### 11.1.1.3 Inflessione nel piano verticale dell'impalcato

Le verifiche deformative nel piano verticale devono tenere conto dei soli effetti dovuti ai carichi verticali relativi ai convogli LM71 e SW/2, comprensivi degli incrementi ( $\Phi_2$  e  $\alpha$ ). Il

numero di binari considerati carichi, per questa tipologia di verifica, sarà dato dalla combinazione dei convogli che realizza la maggiore deformazione.

Perché la verifica risulti soddisfatta, tali carichi no dovranno indurre nell'impalcato una inflessione maggiore del limite  $L/600$ , essendo L la luce del ponte.

In questo caso si ottiene  $L/600 = 60/600 = 100$  mm

La freccia massima ottenuta dal modello di calcolo è

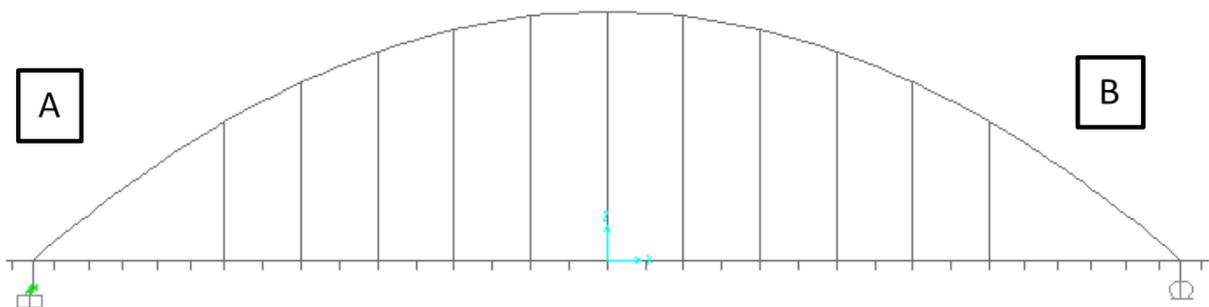
$$\delta_v = 29.11 \text{ mm} < 100 \text{ mm} = L / 600$$

Una ulteriore prescrizione in relazione alla deformazione nel piano verticale limita lo spostamento orizzontale massimo del piano di posa del ballast, conseguente all'inflessione verticale dell'impalcato, ad 8 mm. Nel caso di ponti a due binari questo requisito deve essere verificato considerando un solo binario carico (vedere nota 6 pag. 95 RFI).

Tale prescrizione può essere garantita limitando la massima rotazione di estremità a

$$\theta < 8/H = 0.00387 \text{ [rad]}$$

essendo  $H = 2066$  mm la distanza del piano ferro dal centro di rotazione dell'appoggio.



Si adotta un coefficiente di incremento dinamico considerando come lunghezza caratteristica metà della luce del ponte

$$\Phi_2 \quad 1.09$$

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>109</b> di 122

Distanza del piano ferro dal centro di rotazione dell'appoggio

$H_{pf}$                       2066                      mm

Nodo	$\theta$	
	rad	
A	<b>0.001602</b>	<b>&lt; 8/H<sub>pf</sub></b>
B	<b>-0.001716</b>	<b>&lt; 8/H<sub>pf</sub></b>

Nodo	$\delta_h$	
	mm	
A	<b>3.31</b>	<b>&lt; 8 mm</b>
B	<b>3.55</b>	<b>&lt; 8 mm</b>

#### 11.1.1.4 Stato limite di comfort dei passeggeri

Il controllo della freccia massima verticale del ponte consente di limitare la massima accelerazione verticale in carrozza per garantire il comfort di marcia dei passeggeri.

Tale spostamento è valutato in asse al binario al passaggio del solo convoglio LM71, con gli opportuni incrementi ( $\Phi_2$  e  $\alpha$ ). In questa particolare verifica, al fine di massimizzare gli effetti, si considera un solo binario carico.

Un primo requisito è che in questo caso la freccia verticale non superi il valore di  $L/1000 = 60/1000 = 60$  mm.

$$\delta_v = 20.04 \text{ mm} < 60 \text{ mm} = L/1000$$

Poiché la luce del ponte è superiore a 30 m una ulteriore prescrizione impone che il raggio di curvatura dovuto all'inflessione verticale non sia inferiore al valore ottenuto dalla seguente formula

$$R_{min} = V^2/0.48 = 10047 \text{ m}$$

Il raggio di curvatura conseguente alla freccia verticale  $\delta_v$  è

$$R = 22452 \text{ m} > 10047 \text{ m} \text{ cui corrisponde una accelerazioni di } 0.215 \text{ m/s}^2 < 0.48.$$

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>110 di 122</b>

## 12 VERIFICHE A FATICA

Le verifiche a fatica sono effettuate nel rispetto della specifica RFI, adottando il metodo dei coefficienti  $\lambda$ . In questo modo la verifica a fatica si riconduce ad una verifica tensionale. Di seguito si riportano i risultati delle verifiche relative agli elementi strutturali principalmente interessati dai fenomeni di fatica.

Coefficiente dinamico per le azioni longitudinali:

$$\Phi_2 = 1.44 / (L_\Phi^{0.5} - 0.2) + 0.82 = 1.09 \quad \text{con } L_\Phi = 30 \text{ m (5.5 pag. 44)}$$

Coefficiente dinamico per le azioni sul trasverso:

$$\Phi_2 = 1.44 / (L_\Phi^{0.5} - 0.2) + 0.82 = 1.62 \quad \text{con } L_\Phi = 2 \times 2 = 4 \text{ m}$$

Coefficiente dinamico per le azioni trasversali sul pendino:

$$\Phi_2 = 1.44 / (L_\Phi^{0.5} - 0.2) + 0.82 = 1.20 \quad \text{con } L_\Phi = 4 \times 4 = 16 \text{ m (5.7 pag. 44)}$$

Coefficiente  $\lambda_1$  per le azioni longitudinali:

$$\lambda_1 = 0.63 \quad \text{con } L_\Phi = 60 \text{ m (5.7 pag. 44)}$$

Coefficiente  $\lambda_1$  per le azioni trasversali sul trasverso:

$$\lambda_1 = 0.97 \quad \text{con } L_\Phi = 2 \times 2 + 3 = 7 \text{ m (5b pag. 25)}$$

Coefficiente  $\lambda_1$  per le azioni trasversali sul pendino:

$$\lambda_1 = 0.833 \quad \text{con } L_\Phi = 2 \times 4 + 3 = 11 \text{ m (5b pag. 25)}$$

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>111</b> di 122

## 12.1 Pendino

Considerando la possibilità di malfunzionamento del dispositivo di vincolo pendino-trave, si ipotizza il pendino come incastrato alla base ma si introduce la deformabilità flessionale (in direzione trasversale) della porzione di anima della trave cui è connesso.

Diametro	$\phi$	160	mm
Diametro ridotto	$\phi_{\text{Eff}}$	148	mm
Area	A	17203	mm <sup>2</sup>
Modulo Longitudinale	$W_{\text{long}}$	318262	mm <sup>3</sup>
Modulo Trasversale	$W_{\text{trasv}}$	318262	mm <sup>3</sup>
<b>Dettaglio</b>	$\Delta\sigma_c$	<b>50</b>	<b>Mpa</b>
Coeff. Parz.	$\gamma_{Mf}$	1.35	
$\Delta\sigma_{\text{Lim}} = \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf} =$		<b>24.85</b>	<b>MPa</b>

Correzione per il diametro  
 $k_s$                       0.67

Le sollecitazioni agenti sul pendino sono riassunte nelle tabelle seguenti, riportando i dati considerando il modello di carico LM71 agente sui due binari separatamente.

Sono anche riportate le tensioni corrispondenti.

Di seguito si riportano i coefficienti  $\lambda_1$  ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico  $\Phi_2$ , adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
$\Phi_2$	1.06
$\lambda_1$	0.62

Effetto trasversale	
$\Phi_2$	1.20
$\lambda_1$	0.833

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti  $\lambda_1$  e  $\Phi_2$ .

Per la forza assiale N ed il momento longitudinale  $M_{\text{long}}$  si adottano i coefficienti per gli effetti longitudinali, mentre per il momento trasversale  $M_{\text{trasv}}$  si considerano i coefficienti relativi agli effetti trasversali

		Massimi				Minimi	
Binario 1	N	215.22	kN	N	-3.02	kN	
	$M_{long}$	1.61	kNm	$M_{long}$	-1.96	kNm	
	$M_{trasv}$	1.24	kNm	$M_{trasv}$	-0.30	kNm	
	$\sigma_{+,max}$	21.46	MPa	$\sigma_{+,min}$	-7.29	MPa	
	$\sigma_{-,max}$	11.37	MPa	$\sigma_{-,min}$	5.03	MPa	
Binario 2	N	105.48	kN	N	-3.13	kN	
	$M_{long}$	1.25	kNm	$M_{long}$	-1.24	kNm	
	$M_{trasv}$	1.49	kNm	$M_{trasv}$	-0.11	kNm	
	$\sigma_{+,max}$	14.76	MPa	$\sigma_{+,min}$	-4.41	MPa	
	$\sigma_{-,max}$	6.88	MPa	$\sigma_{-,min}$	3.39	MPa	
	$\Delta\sigma_{71-1}$	28.75	MPa				
	$\Delta\sigma_{71-1+2}$	47.92	MPa				

I rimanenti coefficienti  $\lambda$  sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto  $\lambda_{24}$  calcolato senza considerare  $\lambda_1$ , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

$\lambda_2$	1
$\lambda_3$	1
$\lambda_4$	0.828
$\lambda_{24}$	0.828

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	<b>23.80</b>	<b>MPa</b>
--	--------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	<b>0.96</b>	$\leq 1$
--	-------------	----------

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>113 di 122</b>

## 12.2 Anima trave – ancoraggio pendino

Si procede anche alla verifica a fatica in della porzione di anima della trave principale predisposta all'aggancio con il pendino.

Area	A	52000	mm <sup>2</sup>
Modulo Longitudinale	W <sub>long</sub>	11300000	mm <sup>3</sup>
Modulo Trasversale	W <sub>trasv</sub>	346700	mm <sup>3</sup>
<b>Dettaglio</b>	<b>Δσ<sub>c</sub></b>	<b>71</b>	<b>Mpa</b>
Coeff. Parz.	γ <sub>Mf</sub>	1.35	
<b>Δσ<sub>Lim</sub> = k<sub>s</sub> Δσ<sub>c</sub>/γ<sub>Mf</sub> =</b>		<b>46.76</b>	<b>MPa</b>

Le sollecitazioni agenti sul pendino sono riassunte nelle tabelle seguenti, riportando i dati considerando il modello di carico LM71 agente sui due binari separatamente.

Sono anche riportate le tensioni corrispondenti.

Di seguito si riportano i coefficienti λ<sub>1</sub> ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico Φ<sub>2</sub>, adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
Φ <sub>2</sub>	1.06
λ <sub>1</sub>	0.62

Effetto trasversale	
Φ <sub>2</sub>	1.20
λ <sub>1</sub>	0.833

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti λ<sub>1</sub> e Φ<sub>2</sub>.

Per la forza assiale N ed il momento longitudinale M<sub>long</sub> si adottano i coefficienti per gli effetti longitudinali, mentre per il momento trasversale M<sub>trasv</sub> si considerano i coefficienti relativi agli effetti trasversali

	Massimi			Minimi		
	N			N		
Binario 1	N	215.22	kN	N	-3.02	kN
	M <sub>long</sub>	1.61	kNm	M <sub>long</sub>	-1.96	kNm
	M <sub>trasv</sub>	1.24	kNm	M <sub>trasv</sub>	-0.30	kNm
	σ <sub>+,max</sub>	7.86	MPa	σ <sub>+,min</sub>	-1.11	MPa
	σ <sub>-,max</sub>	7.58	MPa	σ <sub>-,min</sub>	-0.76	MPa

Binario 2	N	105.48	kN
	$M_{long}$	1.25	kNm
	$M_{trasv}$	1.49	kNm
	$\sigma_{+,max}$	6.44	MPa
	$\sigma_{-,max}$	6.22	MPa

N	-3.13	kN
$M_{long}$	-1.24	kNm
$M_{trasv}$	-0.11	kNm
$\sigma_{+,min}$	-0.47	MPa
$\sigma_{-,min}$	-0.25	MPa

$\Delta\sigma_{71-1}$	8.97	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	15.89	MPa

I rimanenti coefficienti  $\lambda$  sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto  $\lambda_{24}$  calcolato senza considerare  $\lambda_1$ , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

$\lambda_2$	1
$\lambda_3$	1
$\lambda_4$	0.824
$\lambda_{24}$	0.824

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	<b>7.39</b>	<b>MPa</b>
--	-------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	<b>0.16</b>	$\leq 1$
--	-------------	----------

### 12.3 Trasverso

Area	A	60700	mm <sup>2</sup>
Modulo Longitudinale	$W_{long}$	20600000	mm <sup>3</sup>
Modulo Trasversale	$W_{trasv}$	2509000	mm <sup>3</sup>
<b>Dettaglio</b>	<b><math>\Delta\sigma_c</math></b>	<b>125</b>	<b>Mpa</b>
Coeff. Parz.	$\gamma_{Mf}$	1.35	
$\Delta\sigma_{Lim} = k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf} =$		<b>79.50</b>	<b>MPa</b>

Le sollecitazioni agenti sul pendino sono riassunte nelle tabelle seguenti, riportando i dati considerando il modello di carico LM71 agente sui due binari separatamente.

Sono anche riportate le tensioni corrispondenti.

Di seguito si riportano i coefficienti  $\lambda_1$  ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico  $\Phi_2$ , adottati per la verifica

Effetto trasversale	
$\Phi_2$	1.62
$\lambda_1$	0.97

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti  $\lambda_1$  e  $\Phi_2$ .

Binario 1	Massimi			Minimi		
	N	1268.26	kN	N	-5.32	kN
$M_{long}$	750.32	kNm	$M_{long}$	-0.44	kNm	
$M_{trasv}$	7.90	kNm	$M_{trasv}$	-7.88	kNm	
$\sigma_{+,max}$	60.46	MPa	$\sigma_{+,min}$	-3.25	MPa	
$\sigma_{-,max}$	-12.38	MPa	$\sigma_{-,min}$	-3.21	MPa	

Binario 2	N	551.98	kN	N	-1.19	kN
	$M_{long}$	368.09	kNm	$M_{long}$	-1.08	kNm
	$M_{trasv}$	5.47	kNm	$M_{trasv}$	-5.48	kNm
	$\sigma_{+,max}$	29.14	MPa	$\sigma_{+,min}$	-2.26	MPa
	$\sigma_{-,max}$	-6.59	MPa	$\sigma_{-,min}$	-2.15	MPa

$\Delta\sigma_{71-1}$	63.72	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	95.12	MPa

I rimanenti coefficienti  $\lambda$  sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto  $\lambda_{24}$  calcolato senza considerare  $\lambda_1$ , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

$\lambda_2$	1
$\lambda_3$	1
$\lambda_4$	0.842
$\lambda_{24}$	0.842

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	<b>53.64</b>	<b>MPa</b>
--	--------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	<b>0.67</b>	$\leq 1$
--	-------------	----------

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>		
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag.
	IN0D00DI2CLVI0007003B		116 di 122

## 12.4 Trave principale

Area	A	135600	mm <sup>2</sup>
Modulo Longitudinale	W <sub>long</sub>	82000000	mm <sup>3</sup>
Modulo Trasversale	W <sub>trasv</sub>	8124000	mm <sup>3</sup>
<b>Dettaglio</b>	<b><math>\Delta\sigma_c</math></b>	<b>63</b>	<b>Mpa</b>
Coeff. Parz.	$\gamma_{Mf}$	1.35	
<b><math>\Delta\sigma_{Lim} = k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf} =</math></b>		<b>41.49</b>	<b>MPa</b>

Le sollecitazioni agenti sul pendino sono riassunte nelle tabelle seguenti, riportando i dati considerando il modello di carico LM71 agente sui due binari separatamente.

Sono anche riportate le tensioni corrispondenti.

Di seguito si riportano i coefficienti  $\lambda_1$  ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico  $\Phi_2$ , adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
$\Phi_2$	1.06
$\lambda_1$	0.62

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti  $\lambda_1$  e  $\Phi_2$ .

	Massimi			Minimi		
	N		kN	N		kN
Binario 1	M <sub>long</sub>	1559.67	kNm	M <sub>long</sub>	-1165.36	kNm
	M <sub>trasv</sub>	1.51	kNm	M <sub>trasv</sub>	-3.33	kNm
	$\sigma_{+,max}$	23.42	MPa	$\sigma_{+,min}$	-14.71	MPa
	$\sigma_{-,max}$	-14.62	MPa	$\sigma_{-,min}$	13.72	MPa
	N	571.78	kN	N	-11.80	kN
Binario 2	M <sub>long</sub>	1023.61	kNm	M <sub>long</sub>	-811.67	kNm
	M <sub>trasv</sub>	0.90	kNm	M <sub>trasv</sub>	-1.85	kNm
	$\sigma_{+,max}$	15.78	MPa	$\sigma_{+,min}$	-10.24	MPa
	$\sigma_{-,max}$	-9.19	MPa	$\sigma_{-,min}$	9.56	MPa
	N	431.98	kN	N	-15.11	kN

 <b>ATI bonifica</b>	<b>Linea AV/AC VERONA – PADOVA</b>	
	<b>1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO</b>	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 63M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO      REV. <b>IN0D00DI2CLVI0007003B</b>	Pag. <b>117 di 122</b>

$\Delta\sigma_{71-1}$	38.13	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	64.15	MPa

I rimanenti coefficienti  $\lambda$  sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto  $\lambda_{24}$  calcolato senza considerare  $\lambda_1$ , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

$\lambda_2$	1
$\lambda_3$	1
$\lambda_4$	0.827
$\lambda_{24}$	0.827

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	<b>31.54</b>	<b>MPa</b>
--	--------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	<b>0.76</b>	<b><math>\leq 1</math></b>
--	-------------	----------------------------

### 12.5 Arco

Area	A	130200	mm <sup>2</sup>
Modulo Longitudinale	W <sub>long</sub>	71000000	mm <sup>3</sup>
Modulo Trasversale	W <sub>trasv</sub>	9470000	mm <sup>3</sup>
<b>Dettaglio</b>	<b>Δσ<sub>c</sub></b>	<b>63</b>	<b>Mpa</b>
Coeff. Parz.	γ <sub>Mf</sub>	1.35	
<b>Δσ<sub>Lim</sub> = k<sub>s</sub> Δσ<sub>c</sub>/γ<sub>Mf</sub> =</b>		<b>41.49</b>	<b>MPa</b>

Le sollecitazioni agenti sul pendino sono riassunte nelle tabelle seguenti, riportando i dati considerando il modello di carico LM71 agente sui due binari separatamente.

Sono anche riportate le tensioni corrispondenti.

Di seguito si riportano i coefficienti λ<sub>1</sub> ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico Φ<sub>2</sub>, adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
Φ <sub>2</sub>	1.09
λ <sub>1</sub>	0.63

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti λ<sub>1</sub> e Φ<sub>2</sub>. Per la forza assiale N ed il momento longitudinale M<sub>long</sub> si adottano i coefficienti per gli effetti longitudinali, mentre per il momento trasversale M<sub>trasv</sub> si considerano i coefficienti relativi agli effetti trasversali

Binario 1	Massimi			Minimi		
	N		kN	N		kN
	M <sub>long</sub>	1093.72	kNm	M <sub>long</sub>	-856.91	kNm
	M <sub>trasv</sub>	13.59	kNm	M <sub>trasv</sub>	-2.40	kNm
	σ <sub>+,max</sub>	17.01	MPa	σ <sub>+,min</sub>	-24.34	MPa
	σ <sub>-,max</sub>	-13.80	MPa	σ <sub>-,min</sub>	-0.20	MPa

Binario 2	Massimi			Minimi		
	N		kN	N		kN
	M <sub>long</sub>	746.83	kNm	M <sub>long</sub>	-598.12	kNm
	M <sub>trasv</sub>	12.33	kNm	M <sub>trasv</sub>	-0.33	kNm

	$\sigma_{+,max}$	12.00	MPa		$\sigma_{+,min}$	-14.63	MPa
	$\sigma_{-,max}$	-9.04	MPa		$\sigma_{-,min}$	2.22	MPa

$\Delta\sigma_{71-1}$	41.35	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	67.98	MPa

I rimanenti coefficienti  $\lambda$  sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto  $\lambda_{24}$  calcolato senza considerare  $\lambda_1$ , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

$\lambda_2$	1
$\lambda_3$	1
$\lambda_4$	0.829
$\lambda_{24}$	0.829

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	<b>34.29</b>	<b>MPa</b>
--	--------------	------------

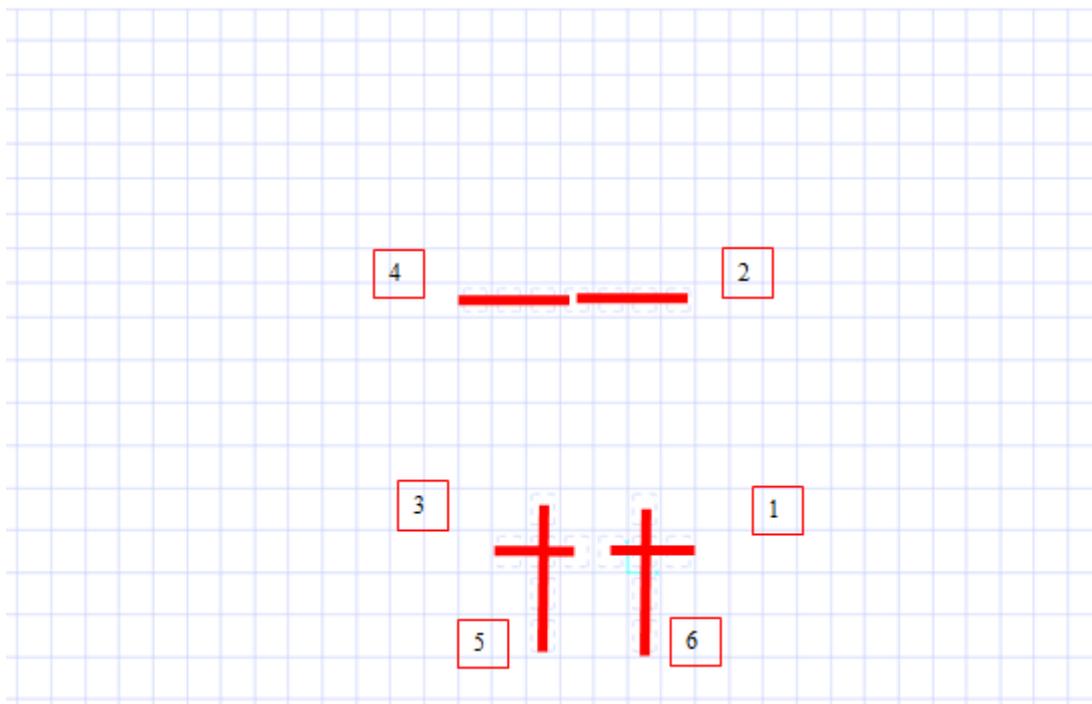
$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	<b>0.83</b>	<b><math>\leq 1</math></b>
--	-------------	----------------------------

### 13 Verifiche locali piastrone

La verifica sullo stato tensionale della piastra è condotta considerando la combinazione allo stato limite ultimo SLU-Svio, ovvero la combinazione relativa al deragliamenti di due tipologie di convoglio al di sopra dell'impalcato. Le sezioni di verifica sono quelle maggiormente sollecitate e sono individuate in base alla combinazione considerata.

#### 13.1 SLU-Svio

Le sezioni considerate per questa combinazione sono individuate nella figura sottostante



l	1000 mm	A	30000 mm <sup>2</sup>
s	30 mm	W	150000 mm <sup>3</sup>

Tensione limite            338.10 MPa

Gruppo	Sezione	F11	M11	F22	M22
-	-	kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m
PiastraSvio1	1	772.45	7.27	-626.14	9.27
PiastraSvio2	2	843.02	0.09	-533.47	-0.39
PiastraSvio3	3	770.70	13.87	-621.43	13.62
PiastraSvio4	4	831.75	0.55	-508.65	-0.92
PiastraSvio5	5	768.11	18.05	-604.67	14.14
PiastraSvio6	6	775.12	-1.56	-619.90	2.20

### Minimi

Gruppo	Sezione	F11	M11	F22	M22
-	-	kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m
PiastraSvio1	1	326.23	-10.79	-1191.31	-2.63
PiastraSvio2	2	385.74	-1.94	-838.90	-4.44
PiastraSvio3	3	325.31	-3.50	-1171.41	-0.22
PiastraSvio4	4	381.06	-1.62	-822.66	-6.08
PiastraSvio5	5	321.74	4.22	-1131.37	1.55
PiastraSvio6	6	331.22	-17.68	-1192.30	-5.39

### Sezione 1

	F11, M11	
	+	-
$\sigma_{max}$	74.23	-22.73
$\sigma_{min}$	-61.03	82.78

	F22, M22	
$\sigma_{max}$	40.96	-82.70
$\sigma_{min}$	-57.25	-22.17

### Sezione 2

	F11, M11	
	+	-
$\sigma_{max}$	28.69	27.51
$\sigma_{min}$	-0.05	25.77

	F22, M22	
$\sigma_{max}$	-20.38	-15.18
$\sigma_{min}$	-57.57	1.64

### Sezione 3

	F11, M11	
	+	-
$\sigma_{\max}$	118.18	-66.80
$\sigma_{\min}$	-12.46	34.15

	F22, M22	
$\sigma_{\max}$	70.09	-111.52
$\sigma_{\min}$	-40.49	-37.61

### Sezione 4

	F11, M11	
	+	-
$\sigma_{\max}$	31.41	24.04
$\sigma_{\min}$	1.90	23.51

	F22, M22	
$\sigma_{\max}$	-23.08	-10.83
$\sigma_{\min}$	-67.93	13.08

### Sezione 5

	F11, M11	
	+	-
$\sigma_{\max}$	145.91	-94.70
$\sigma_{\min}$	38.84	-17.39

	F22, M22	
$\sigma_{\max}$	74.08	-114.39
$\sigma_{\min}$	-27.36	-48.06

### Sezione 6

	F11, M11	
	+	-
$\sigma_{\max}$	15.45	36.23

	F22, M22	
$\sigma_{\max}$	-5.97	-35.36