

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 78M. IN STRUTTURA METALLICA-ARCO

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M. IN STRUTTURA METALLICA - ARCO

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR S.p.A.	SCALA:
ATI bonifica Progettista integratore 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	Consorzio IRICAV DUE Il Direttore		-

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

I	N	0	D	0	0	D	I	2	C	L	V	I	0	0	0	7	0	0	4	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ATI bonifica	VISTO ATI BONIFICA	
	Firma	Data
	Ing.F.P. Bocchetto	Luglio 2015

Programmazione

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

File: IN0D00DI2CLVI0007004B_02A.DOCX	CUP.: J41E9100000009	n. Elab.:
	CIG.: 3320049F17	

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	35
6.2	Sezioni elementi monodimensionali	38
6.2.1	Trave principale	38
6.2.2	Trasverso impalcato	39
6.2.3	Longherina	40
6.2.4	Arco	41
6.2.5	Trasverso Arco	43
6.2.6	Controvento Arco	44
6.2.7	Pendino	44

6.3	Viste modello – Sezioni	45
6.4	Convenzione dei segni	47
7	ANALISI DINAMICA	49
7.1	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA SECONDO DM2008	49
7.1.1	REQUISITI SULLA FREQUENZA FLESSIONALE	50
7.2	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA REALE	50
7.2.1	IPOSTESI DI MODELLAZIONE	50
7.2.2	ANALISI MODALE	51
7.2.2.1	FORME MODALI	54
7.2.3	ANALISI DINAMICA	58
7.2.3.1	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL MODELLO	58
7.2.3.1.1	MODO FLESSIONALE	59
7.2.3.1.2	MODO TORSIONALE	59
7.2.3.2	RISULTATI, MODELLO DI CARICO HSLM	60
7.2.3.2.1	ANALISI MOTO FLESSIONALE	60
7.2.3.2.2	ANALISI MOTO TORSIONALE	62
7.2.3.3	RISULTATI, MODELLO DI CARICO TRENO REALE (TR)	65
7.2.3.3.1	ANALISI MOTO FLESSIONALE	65
7.2.3.3.2	ANALISI MOTO TORSIONALE	68
7.2.3.4	CONSIDERAZIONI FINALI	70
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	VERIFICA 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	Archi	86
9.4	Trasversi arco	90
9.5	Pendini	93

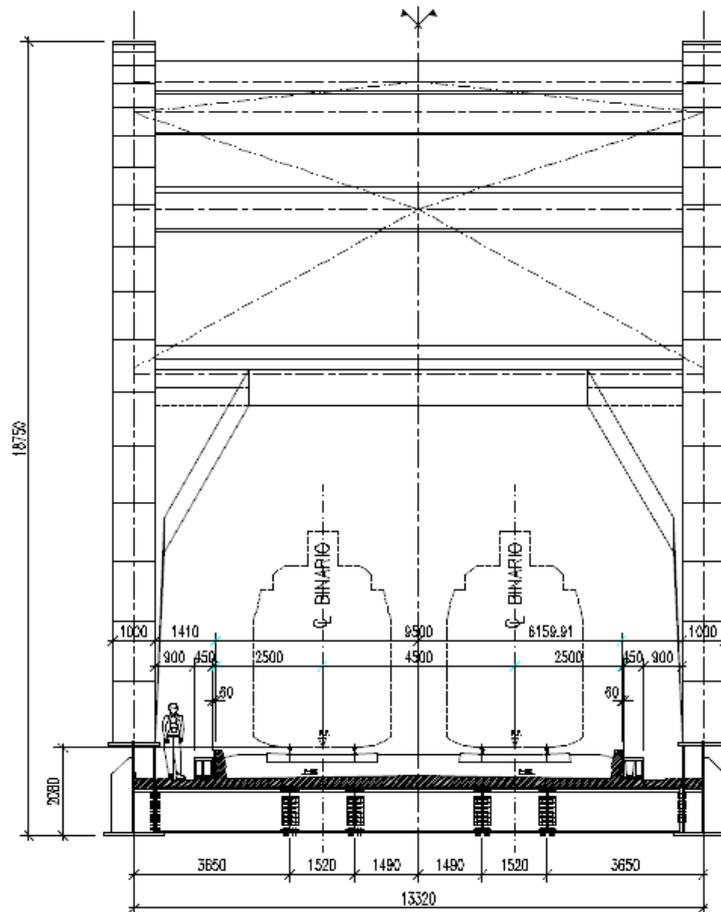
9.6	Trasversi.....	95
9.7	Longherine	98
10	ROTTURA DI 3 PENDINI	101
11	VERIFICHE SLE	108
11.1	Verifiche deformative	108
11.1.1	Accelerazioni verticali sull'impalcato.....	108
11.1.1.1	Deformazioni torsionali sull'impalcato.....	108
11.1.1.2	Inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato.....	109
11.1.1.3	Inflessione nel piano verticale dell'impalcato.....	109
11.1.1.4	Stato limite di comfort dei passeggeri.....	111
12	VERIFICHE A FATICA.....	112
12.1	Pendino.....	113
12.2	Anima trave – ancoraggio pendino	115
12.3	Trasverso.....	116
12.4	Trave principale	118
12.5	Arco.....	120
13	Verifiche locali piastrone	122
13.1	SLU-Svio.....	122

1 INTRODUZIONE

La campata speciale del viadotto sull'Alpone ha una lunghezza di 77.8 m ed una luce di 75 m di luce asse appoggi ed è costituita da un ponte ad arco a spinta eliminata a via inferiore. Le strutture sono interamente realizzate con profilati in acciaio tipo S 355 W.

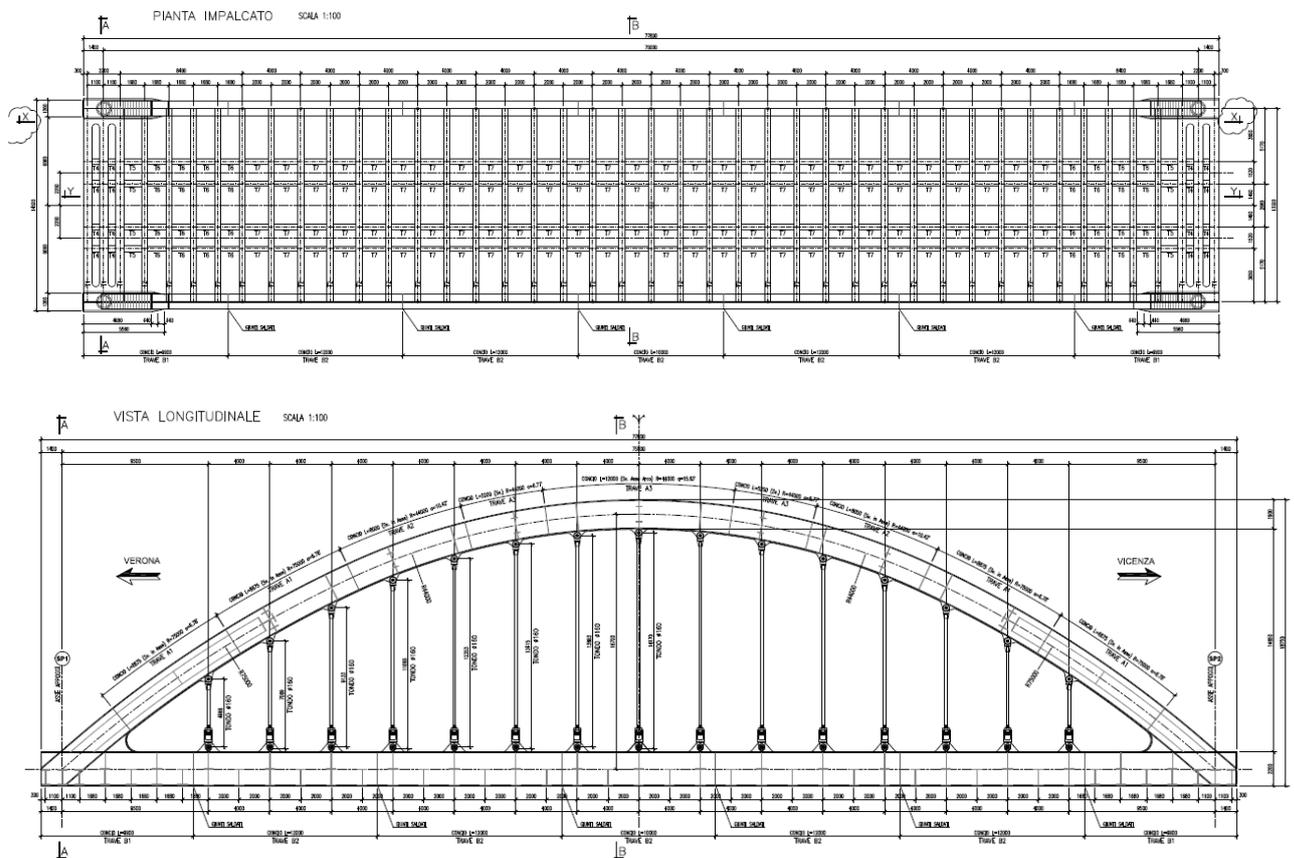
Gli archi, realizzati con un profilo saldato a doppio T (h=1.9 m), sono caratterizzati da un rapporto freccia luce $f/l = 18.75/75 = 0.25$ (intradosso briglia – estradosso arco).

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 longherine che corrono lungo tutta la luce ed, insieme ai trasversi e a una piastra dello spessore di 32 mm, costituiscono l'impalcato.



I trasversi hanno un interasse corrente di 2 m, pari all'interasse dei pendini. In prossimità degli appoggi l'interasse trasversi si riduce a 1.68 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 di 75 m, mentre l'interasse fra le pareti è di 13,32 m. Su ciascuna parete l'arco è collegato alla trave principale attraverso 15 pendini a passo 4 m.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 7 di 125

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 1,90 m, con piattabanda superiore 1000 x 40 mm, piattabanda inferiore 1000 x 40 mm ed anima 40 mm; l'altezza in chiave è di 18,85 m.

Le travi sono realizzate con una sezione a doppio T di altezza 2,20 m, con piattabanda superiore 1000 x 40 mm, piattabanda inferiore 1000 x 40 mm ed anima 40 mm.

Il piano di sostegno all'armamento ferroviario è realizzato con un impalcato a 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 32 mm 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 ϕ 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 ϕ 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.

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 8 di 125

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 deragliamenti di un treno. Viene quindi effettuata la verifica di resistenza e stabilità delle strutture principali e secondarie di impalcato per effetto del deragliamenti (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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 9 di 125

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 in acciaio tipo S 355 W, di cui si riportano le caratteristiche previste dalla normativa NTC 2008.

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} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]
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

Fanno eccezione i pendini che sono realizzati in con acciaio tipo S 460 N/NL.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag.
	IN0D00DI2CLVI0007004B	11 di 125

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:

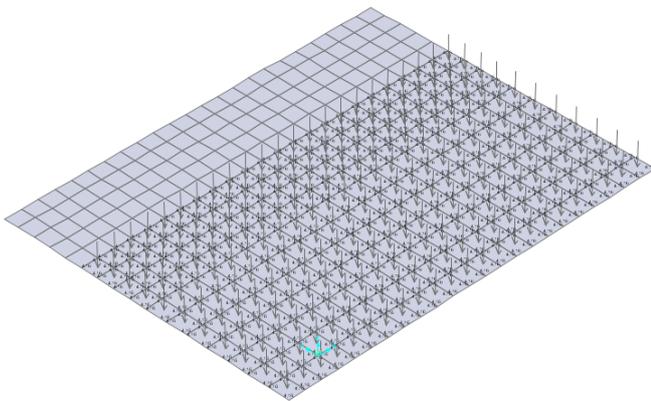
	kN/m
Ballast	144.32
Soletta (+5cm massetto)	38.52
Soletta laterale	6.26
paraballast	3.35
Canaletta (+ cavi)	3.00
Totale	195.45

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.

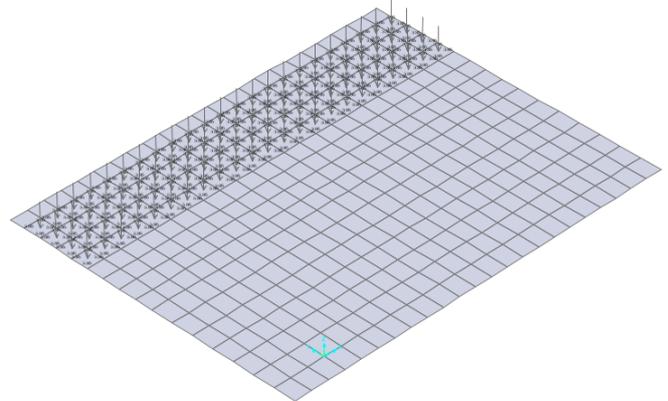
Di seguito si mostra l'applicazione dei carichi permanenti non strutturali sul modello. Si illustra soltanto una porzione di piastra in corrispondenza della mezzeria dell'impalcato.

Soletta in calcestruzzo

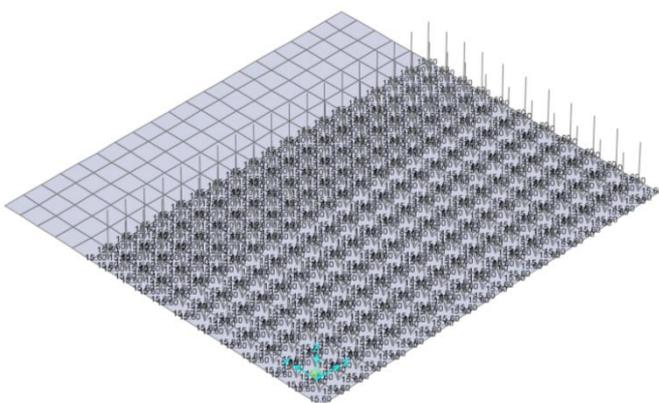
centrale



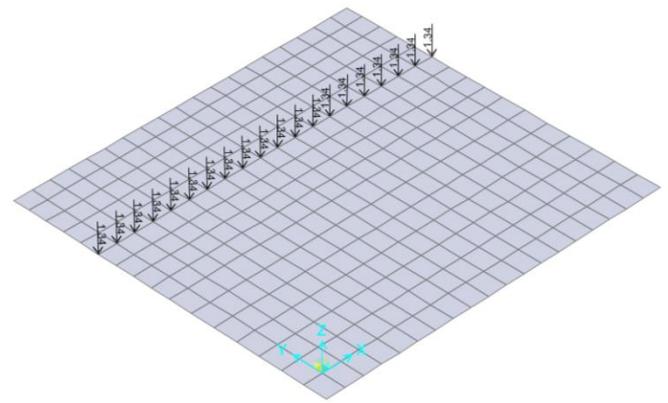
esterna



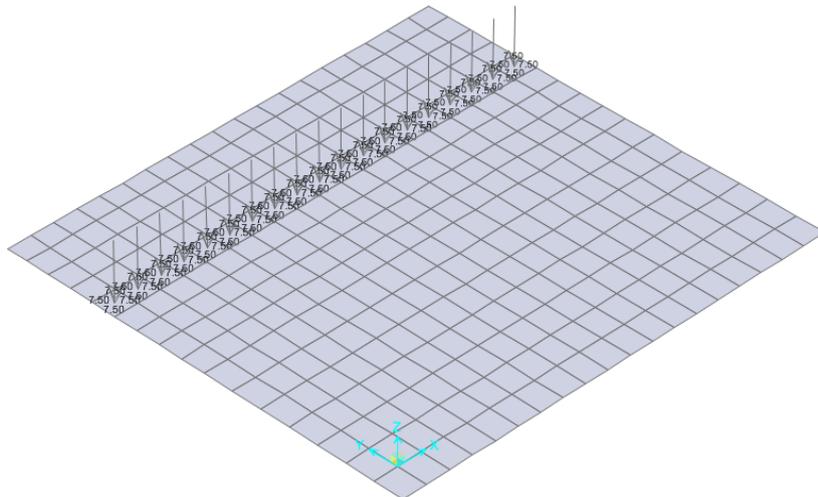
Ballast



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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 14 di 125

4.4 Vento

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

Zona	1		Tab. 3.3.I (Montebello Vicentino)
as	53	m	
vb0	25	m/s	
a0	1000	m	
ks	0.01	1/s	
vb	25	as<a0	3.3.1
qb	390.625	N/m2	3.3.4
Cl. Rugosità Cat. Expo	D II		Tab. 3.3.III
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 RF1, 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 tira/spingi sulle longherine.

Htr	2.2	m	altezza trave
Harco	1.9	m	altezza arco
Hpf	0.133	m	distanza pf estradosso trave
Htreno	3.87	m	altezza libera treno
br	2.92	m	braccio tra piano piastrone e baricentro forza del vento

Carichi distribuiti

fttr	5.49	kN/m	sulle travi
fa	4.75	kN/m	sull'arco
fp	9.66	kN/m	sulla piastra
Mlt	28.23	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 effetto tira/spingi 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 ²	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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 16 di 125

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**

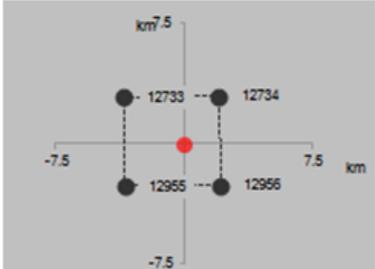
Secondo quanto prescritto dalla normativa vigente si considera anche un gradiente termico agente tra estradosso e intradosso dell'impalcato pari a $\pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

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.

4.6 Azione sismica

Per l'individuazione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento alla relazione sismica IN0D00DI2RH000000001A. Lo spettro di risposta è stato calcolato per il sito con le seguenti coordinate.

13	20+000	45.387561	11.259334	
----	--------	-----------	-----------	--

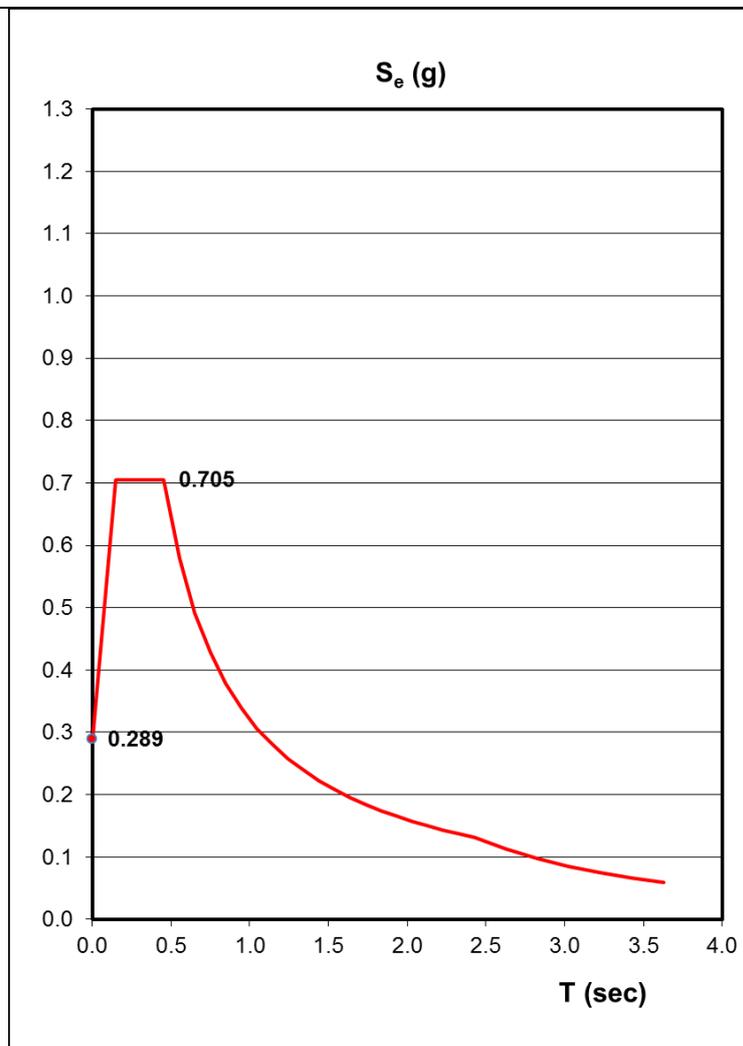
Per il calcolo dello spettro di progetto si è utilizzato il foglio di calcolo Spettri-NTCver. 1.03, messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (<http://www.cslp.it>). I valori di input sono riportati di seguito.

Caratteristica	Notazione NTC 2008	Unità	Valore
Stato Limite	SL		SLV
Vita Nominale dell'Opera	V_N	(anni)	100
Classe d'Uso dell'Opera			III
Coefficiente di Classe d'Uso	C_U		1.5
Periodo di Riferimento	V_R	(anni)	150
Probabilità di eccedenza in V_R	P_{VR}	(%)	10%
Tempo di ritorno	T_R	(anni)	1424
Accelerazione massima al sito	a_g/g	(g)	0.207
Fattore massimo di amplificazione spettrale orizzontale	F_0		2.438
Periodo inizio tratto a velocità orizzontale costante	T_C^*	(sec)	0.286

Smorzamento	ξ	(%)	5
Coefficiente di smorzamento	η		1.00
Coefficiente inizio tratto a velocità orizzontale costante	C_C		1.587
Profilo geologico			C
Coefficiente di topografia	S_T		1.00
Coefficiente stratigrafico	S_S		1.397
Coefficiente di amplificazione al sito	S		1.397
Periodo inizio tratto ad accelerazione orizzontale costante	T_B	(sec)	0.151
Periodo inizio tratto a velocità orizzontale costante	T_C	(sec)	0.454
Periodo inizio tratto a spostamento orizzontale costante	T_D	(sec)	2.428
Coefficiente di amplificazione verticale	S_v		1.000
Fattore massimo di amplificazione spettrale verticale	F_v		1.497
Periodo inizio tratto ad accelerazione verticale costante	T_B	(sec)	0.050
Periodo inizio tratto a velocità verticale costante	T_C	(sec)	0.150
Periodo inizio tratto a spostamento verticale costante	T_D	(sec)	1.000

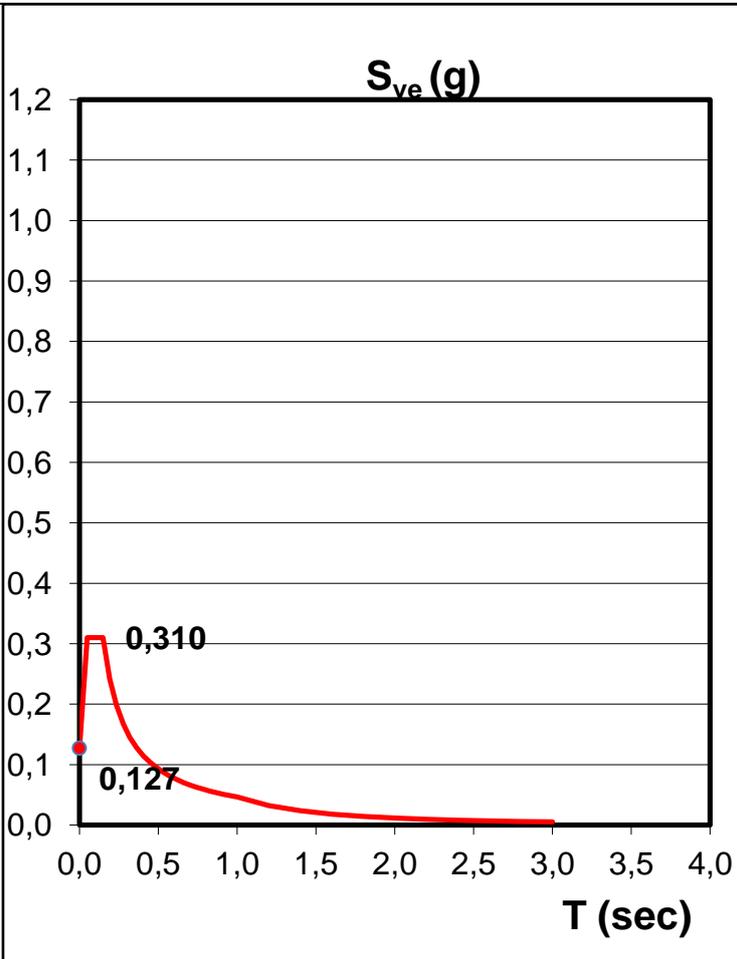
Gli spettri elastici per la direzione orizzontale e verticale sono mostrati nelle figure sottostanti.

Spettro di risposta elastico orizzontale



T	S_e
0.000	0.289
0.151	0.705
0.454	0.705
0.553	0.579
0.651	0.491
0.750	0.427
0.849	0.377
0.947	0.338
1.046	0.306
1.145	0.280
1.244	0.257
1.342	0.238
1.441	0.222
1.540	0.208
1.638	0.195
1.737	0.184
1.836	0.174
1.934	0.165
2.033	0.157
2.132	0.150
2.231	0.143
2.329	0.137
2.428	0.132

Spettro di risposta elastico verticale



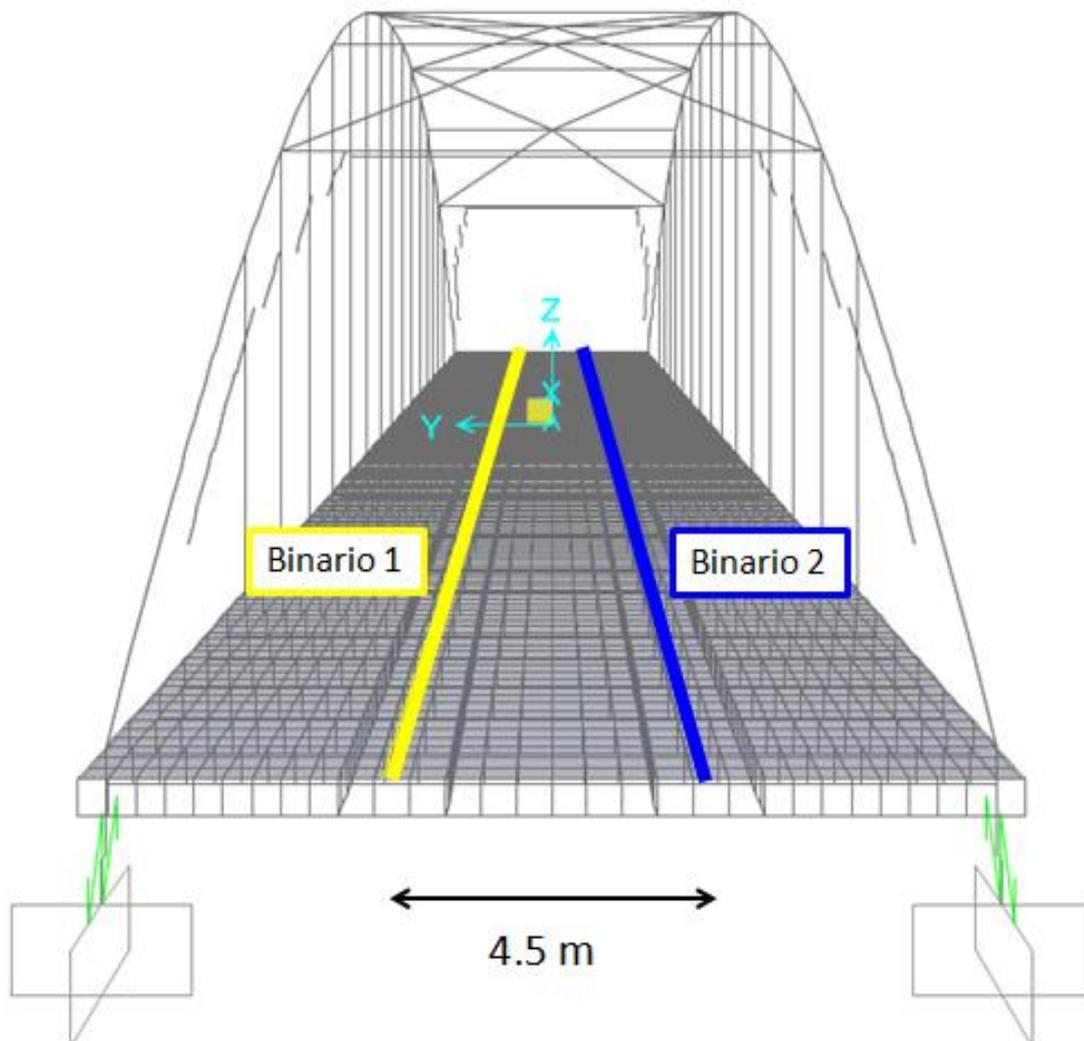
T	S_{ve}
0.000	0.127
0.050	0.310
0.150	0.310
0.193	0.242
0.235	0.198
0.278	0.168
0.320	0.145
0.363	0.128
0.405	0.115
0.448	0.104
0.490	0.095
0.533	0.087
0.575	0.081
0.618	0.075
0.660	0.070
0.703	0.066
0.745	0.062
0.788	0.059
0.830	0.056
0.873	0.053
0.915	0.051
0.958	0.049
1.000	0.046

L'azione sismica sarà quindi considerata agente separatamente nella direzione degli assi del sistema di riferimento X,Y,Z.

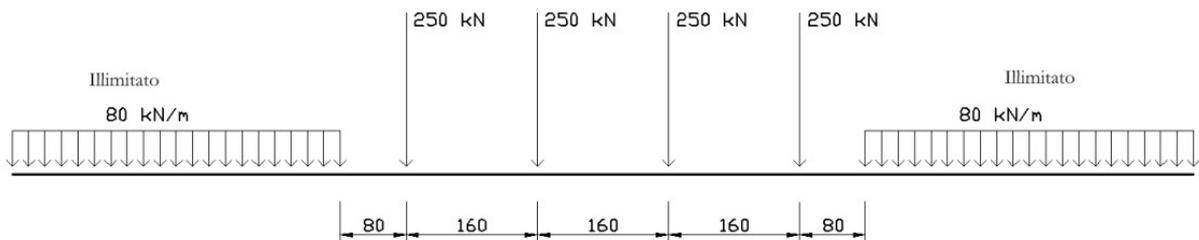
Lo spettro orizzontale è adottato per valutare l'azione sismica nel piano orizzontale (Ex, Ey), mentre lo spettro verticale per l'analisi dell'azione sismica lungo Z (Ez).

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 Φ_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

$$L_\phi = L/2 = 37.5 \text{ m}$$

per cui il coefficiente di incremento dinamico per le verifiche longitudinali assume il valore $\Phi_2=1.06$. 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 $\Phi = \Phi_2$			
	Φ_2	L_ϕ [m]	
Verifiche longitudinali	1.06	37.5	semi luce ponte
Verifiche trasversali	1.62	4	2 x interasse trasversi
Verifiche pendino	1.20	16	4 x interasse pendini

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	75		
e3	219.73	mm	verso esterno curva

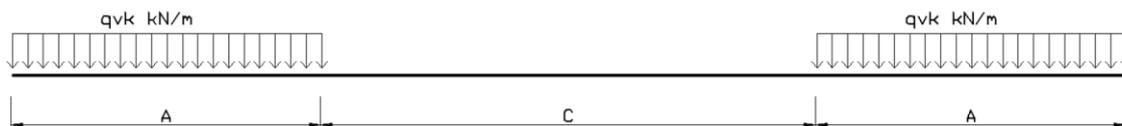
Massima eccentricità verso esterno

133.72 mm

Massima eccentricità verso interno

-25.73 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 Φ_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.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 25 di 125

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 geometria 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	78 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

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

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

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

$$f = 0.35 \quad \text{per il convoglio LM71}$$

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

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 longerine.

LM71	
q_{tk}	m_k
kN/m	kNm/m
6.97	19.45

SW/2	
q_{tk}	m_k
kN/m	kNm/m
2.46	6.86

Questi carichi sono considerati concomitanti con il relativo convoglio, ma non sono amplificati né di α né di Φ_2 .

4.8.2 Avviamento / Frenatura

Gli effetti di avviamento e frenatura sono di seguito riportate:

Avviamento

l 75 m

Q 2475 kN <1000 1000 kN **LM71, SW/2**

Frenatura

1500 kN <6000 1500 kN **LM71**

2625 kN 2625 kN **SW/2**

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 27 di 125

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 α .

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 una coppia equivalente di forze uniformemente distribuite 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 α .

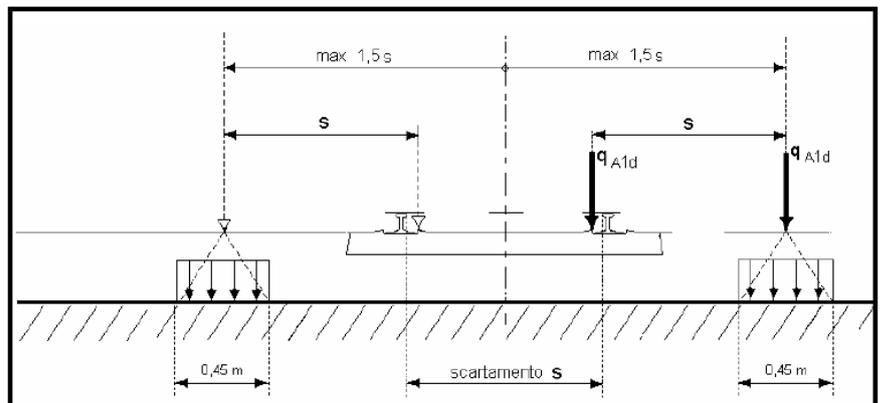
4.9 Azione da traffico – Carichi eccezionali

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

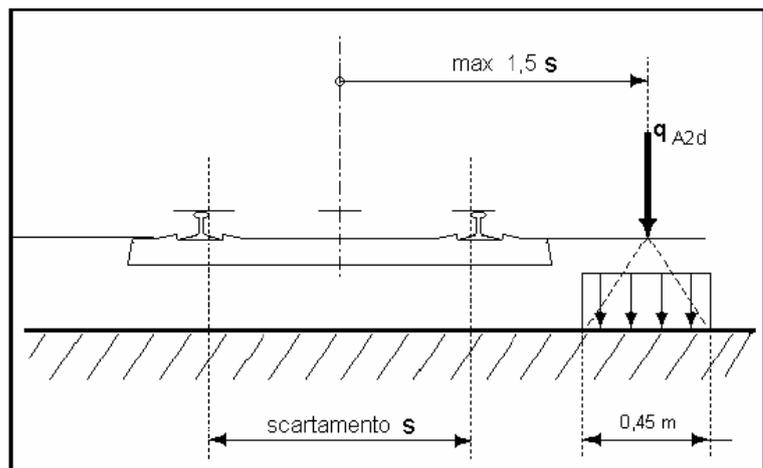
Pressione equivalente
 p 92.31 kN/m²



Caso 2

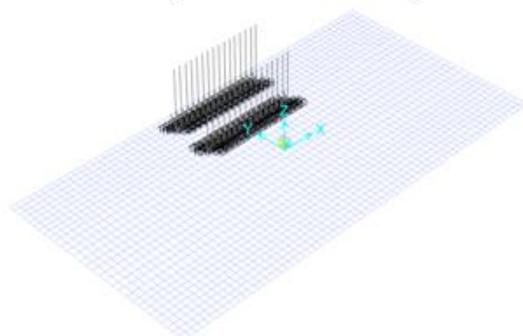
q_{A2d} 112 kN/m
 l_{eff} 20 m
 l_{trasv} 0.65 m

Pressione equivalente
 p_{eq} 172.31 kN/m²

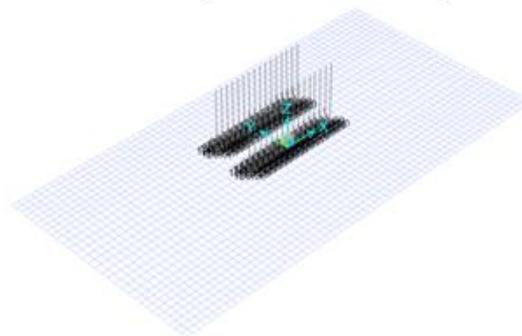


Di seguito si illustra la modalità di applicazione dei carichi di svio sul modello. Sono stati assegnati come carichi superficiali di piastra.

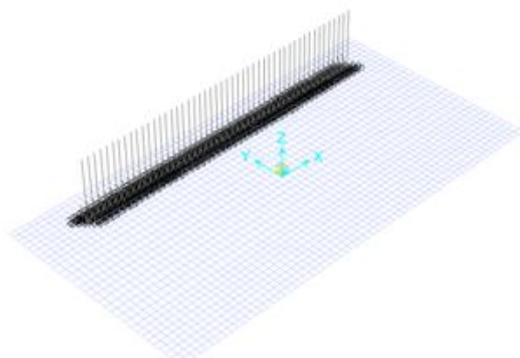
Caso 1 - svio esterno



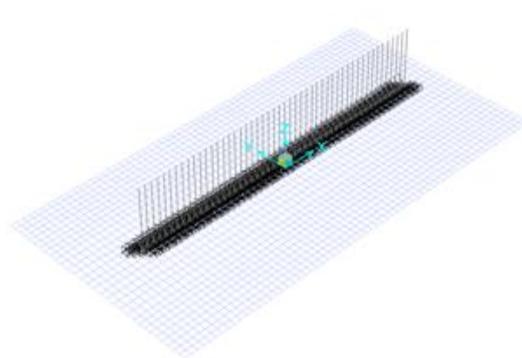
Caso 1 - svio interno



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

	Gr32	binario 1				binario 1			binario 1		binario 1
	Gr33	binario 2	binario 1			binario 2	binario 1	binario 2		binario 1	binario 1,2
	Gr34	binario 1,2				binario 1,2		binario 2	binario 1		binario 1,2
	Gr35				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
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	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 (Φ, α , 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 λ , per cui le sollecitazioni sono derivate direttamente dall'effetto del passaggio del modello di carico LM71 incrementato di α e Φ_2 .

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 33 di 125

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 trasversi 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 trasversi 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 trasversi 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

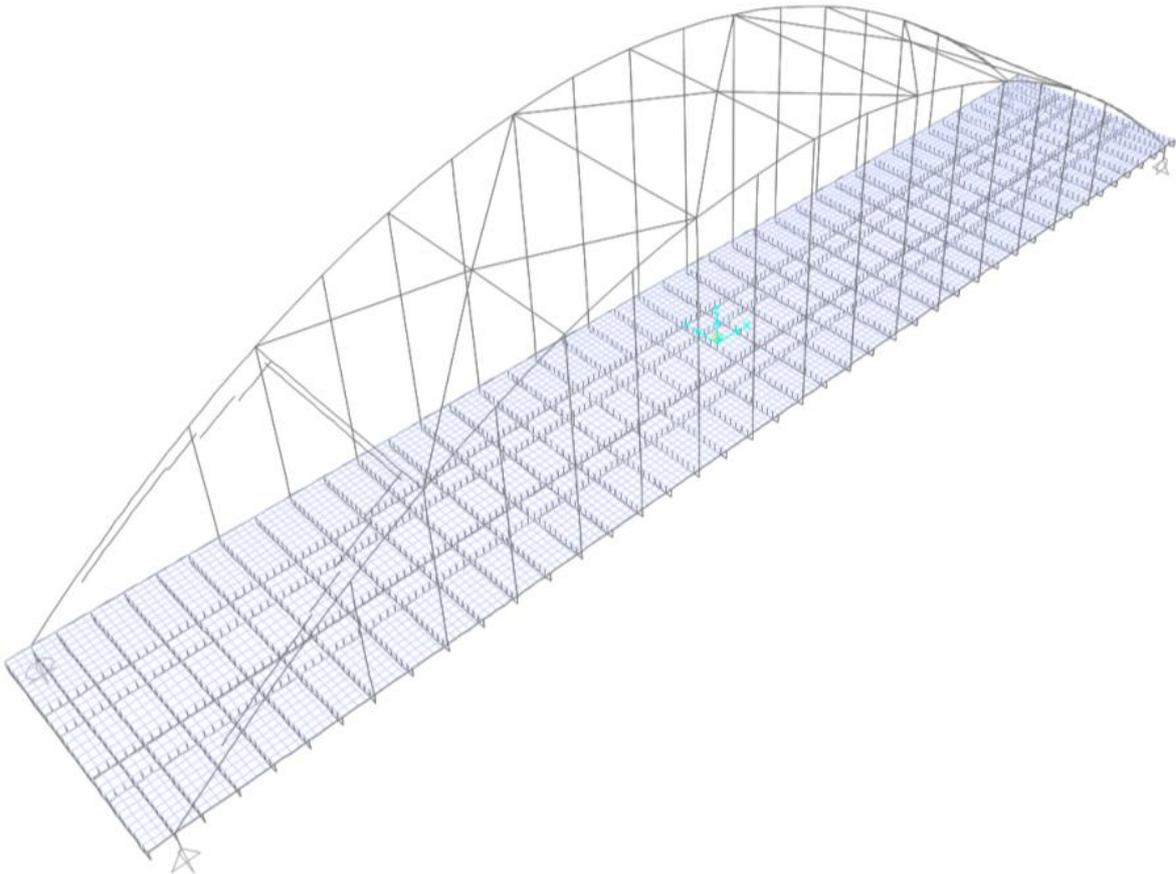
 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 34 di 125

stesso e nel piano orizzontale di inerzia pari a quella delle menbrature costituenti il portale.

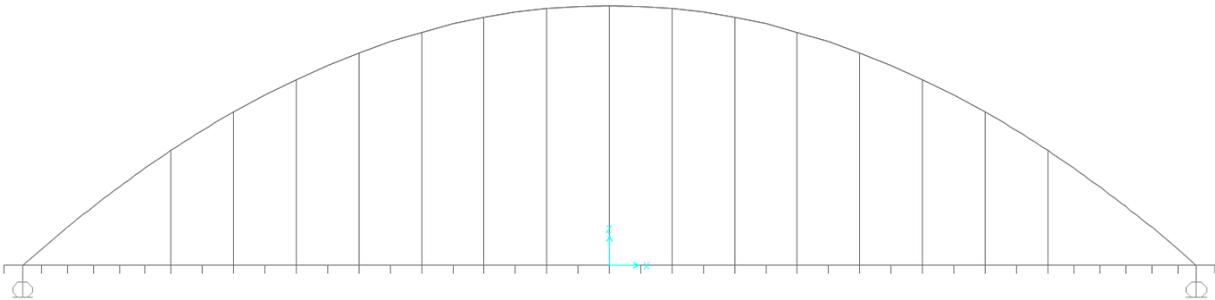
I pesi propri della struttura sono stati applicati come carichi distribuiti direttamente a ciascuno degli elementi strutturali, mentre i pesi permanenti portati ed i sovraccarichi accidentali sono stati applicati rispettivamente ai traversi ed alle longherine.

6.1 Modello EF

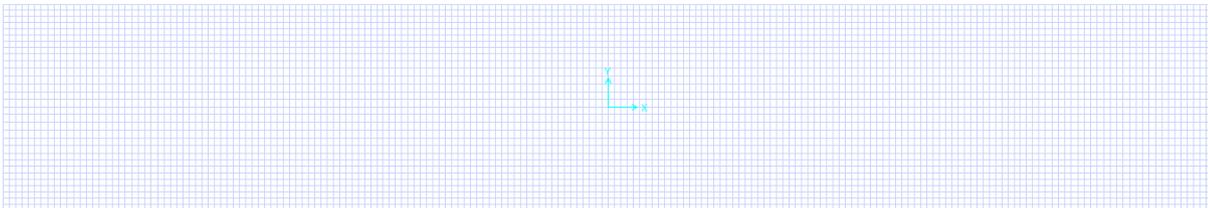
Vista 3D



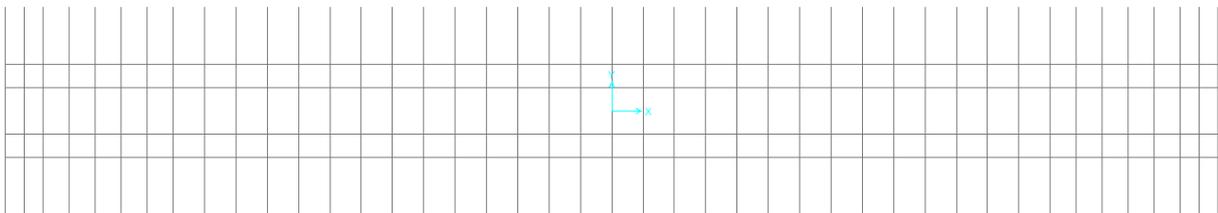
Vista Arco



Vista Piastra



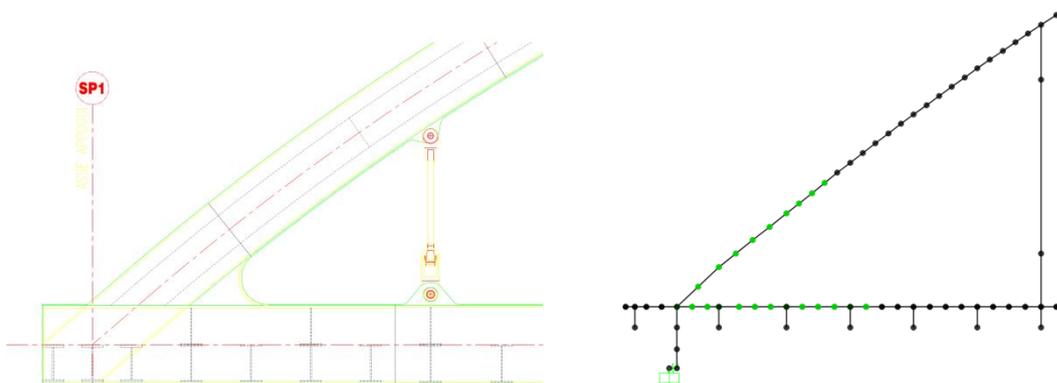
Vista graticcio trasversi-longherine



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)	2.2
Top flange width (t2)	1.2
Top flange thickness (tf)	0.06
Web thickness (tw)	0.04
Bottom flange width (t2b)	1.4
Bottom flange thickness (tfb)	0.06

Trave 2

Dimensions	
Outside height (t3)	2.2
Top flange width (t2)	1.
Top flange thickness (tf)	0.04
Web thickness (tw)	0.04
Bottom flange width (t2b)	1.
Bottom flange thickness (tfb)	0.04

Trave 3

Dimensions	
Outside height (t3)	2.2
Top flange width (t2)	1.
Top flange thickness (tf)	0.04
Web thickness (tw)	0.04
Bottom flange width (t2b)	1.
Bottom flange thickness (tfb)	0.04

Display Color ■

6.2.2 Trasverso impalcato

Trasverso 1

Dimensions	
Outside height (t3)	1.03
Top flange width (t2)	0.6
Top flange thickness (tf)	0.04
Web thickness (tw)	0.04
Bottom flange width (t2b)	0.6
Bottom flange thickness (tfb)	0.04

Display Color ■

Trasverso 2

Dimensions	
Outside height (t3)	1.05
Top flange width (t2)	0.6
Top flange thickness (tf)	0.03
Web thickness (tw)	0.02
Bottom flange width (t2b)	0.6
Bottom flange thickness (tfb)	0.03

Section

6.2.3 Longherina

Longherina 1

Dimensions	
Outside height (t3)	<input type="text" value="0.99"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0.4"/>
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="0.4"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0.03"/>

Display Color ■

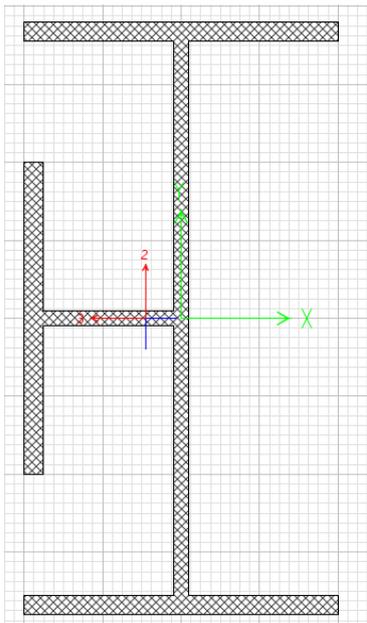
Longherina 2

Dimensions	
Outside height (t3)	<input type="text" value="0.974"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0.36"/>
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0.02"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="0.015"/>
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0.36"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0.02"/>

Display Color ■

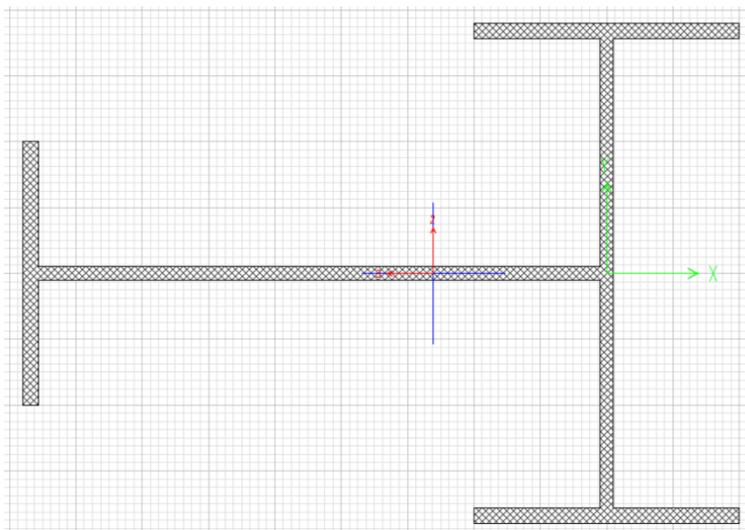
6.2.4 Arco

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)	1.9
Top flange width (t2)	1.
Top flange thickness (tf)	0.06
Web thickness (tw)	0.05
Bottom flange width (t2b)	1.
Bottom flange thickness (tfb)	0.06

Display Color ■

Arco 4

Dimensions	
Outside height (t3)	1.9
Top flange width (t2)	1.
Top flange thickness (tf)	0.055
Web thickness (tw)	0.04
Bottom flange width (t2b)	1.
Bottom flange thickness (tfb)	0.055

Display Color ■

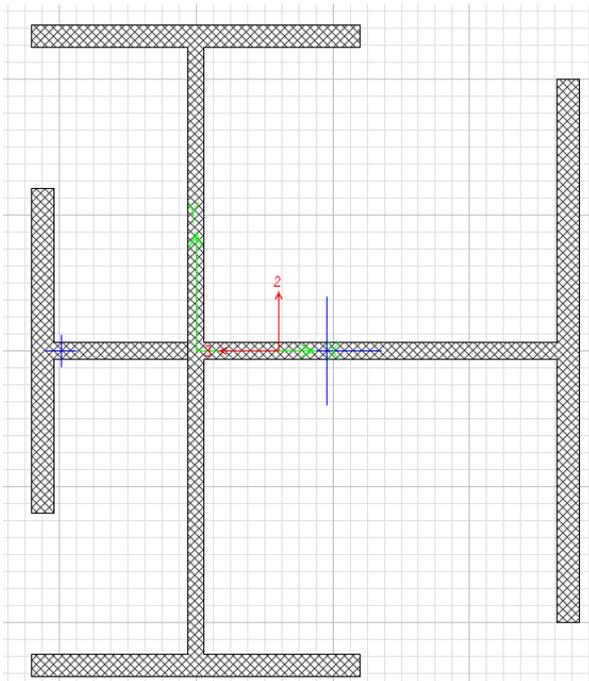
Arco 5

Dimensions	
Outside height (t3)	1.9
Top flange width (t2)	1.
Top flange thickness (tf)	0.04
Web thickness (tw)	0.04
Bottom flange width (t2b)	1.
Bottom flange thickness (tfb)	0.04

Display Color ■

6.2.5 Trasverso Arco

Trasverso Arco 1

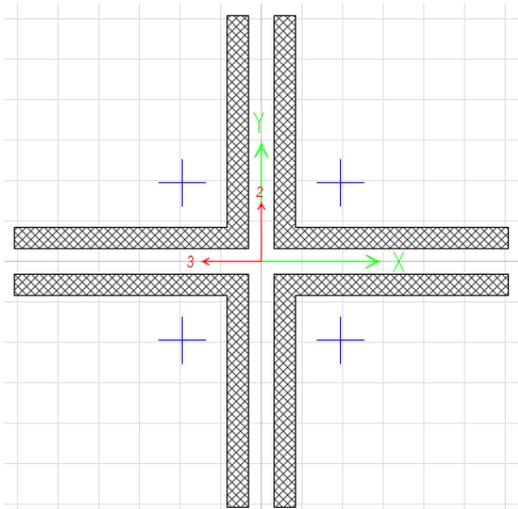


Xcg	0.1509
Ycg	0.
Axis Angle 90 >>	
A	0.1723
J	7.876E-05
I33	0.0237
I22	0.021
I23	0.
AS2	0.1005
AS3	0.0501
S33(+face)	0.0395
S33(-face)	0.0395
S22(+face)	0.0465
S22(-face)	0.0382
Z33	0.051
Z22	0.0487
r33	0.371
r22	0.3487
d33pna	0.
d22pna	0.1392

Trasverso Arco 2

Dimensions		Section
Outside height (t3)	<input type="text" value="1."/>	
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0.5"/>	
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0.02"/>	
Web thickness (tw)	<input type="text" value="0.015"/>	
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0.5"/>	
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0.02"/>	

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

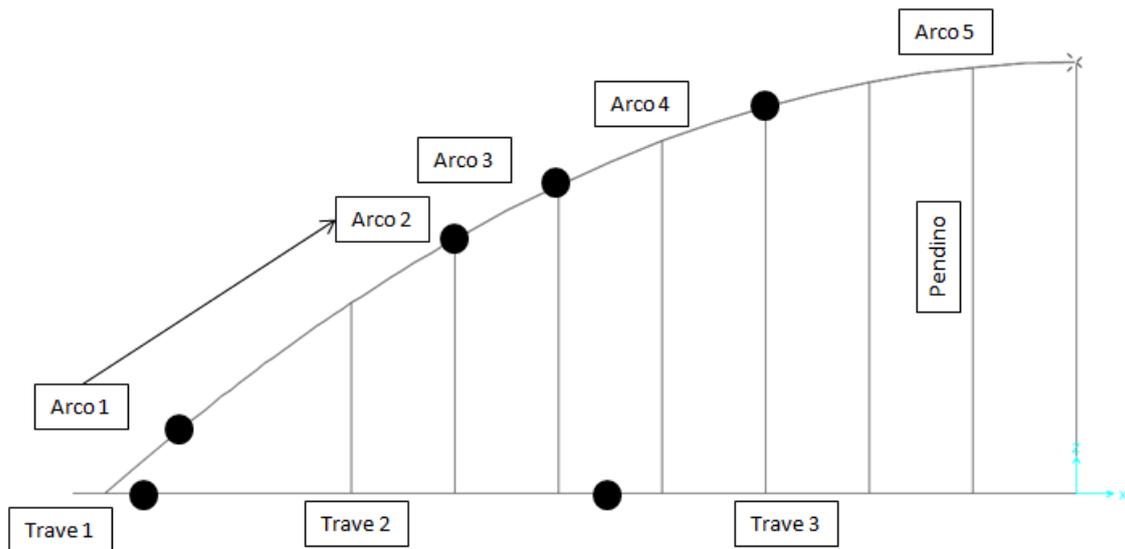
Dimensions

Diameter (t3)

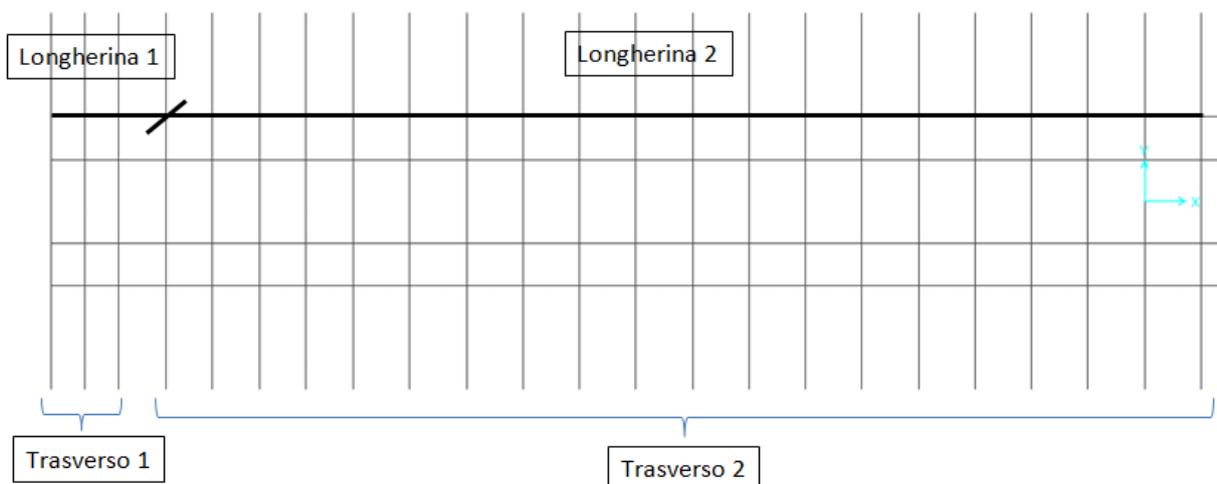
Section

6.3 Viste modello – Sezioni

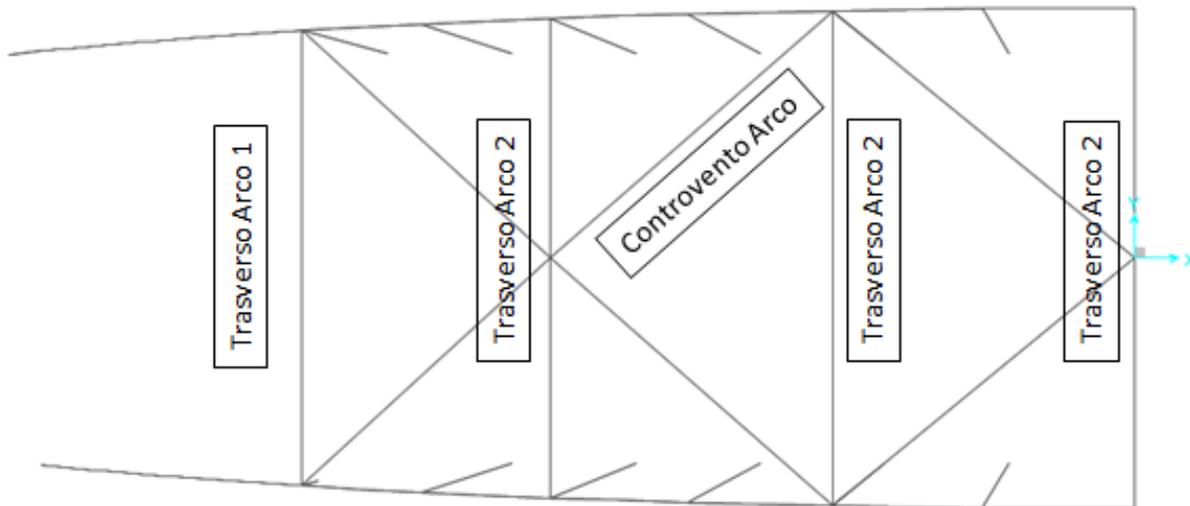
Prospetto arco



Pianta graticcio

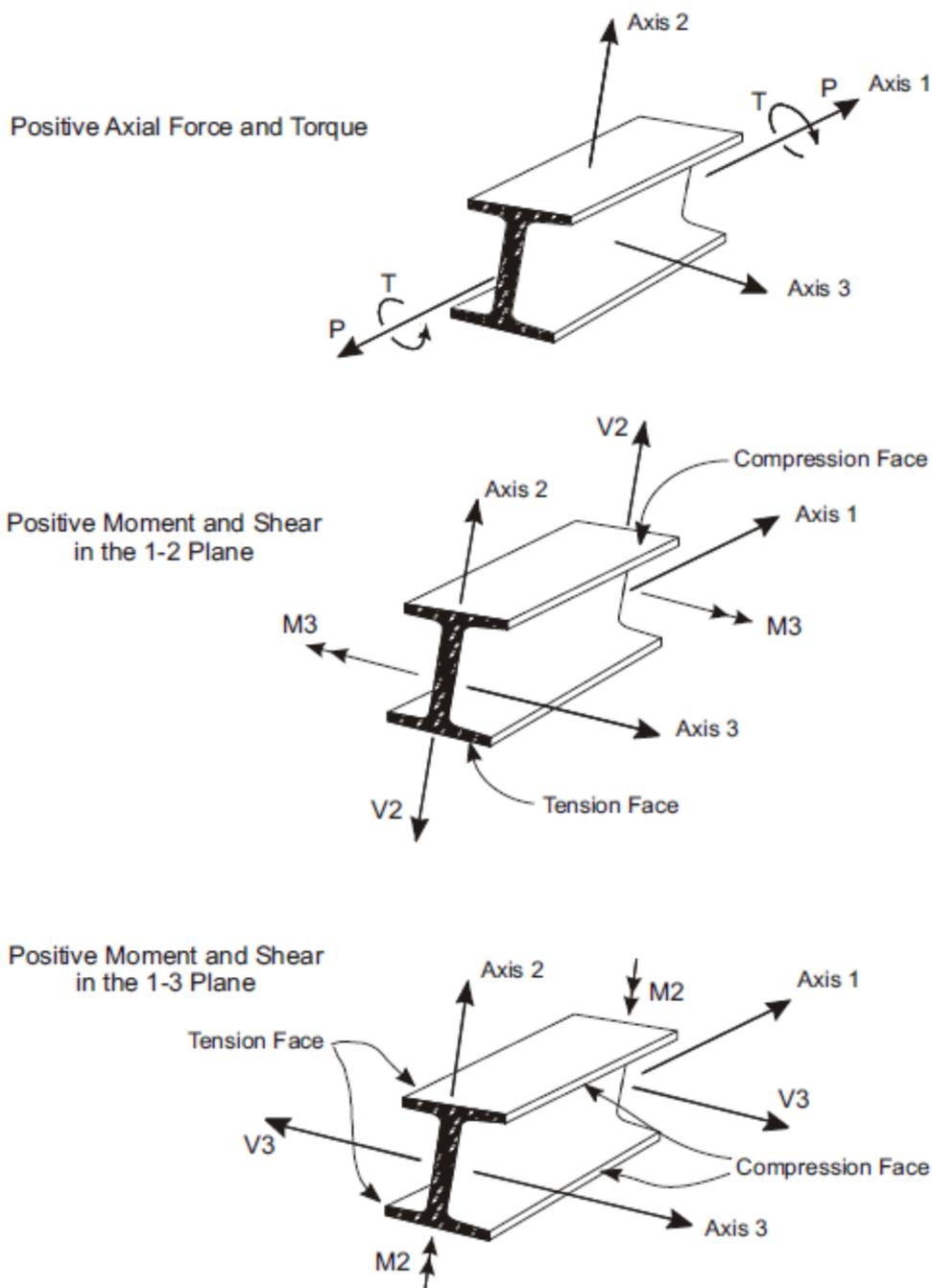


Pianta archi

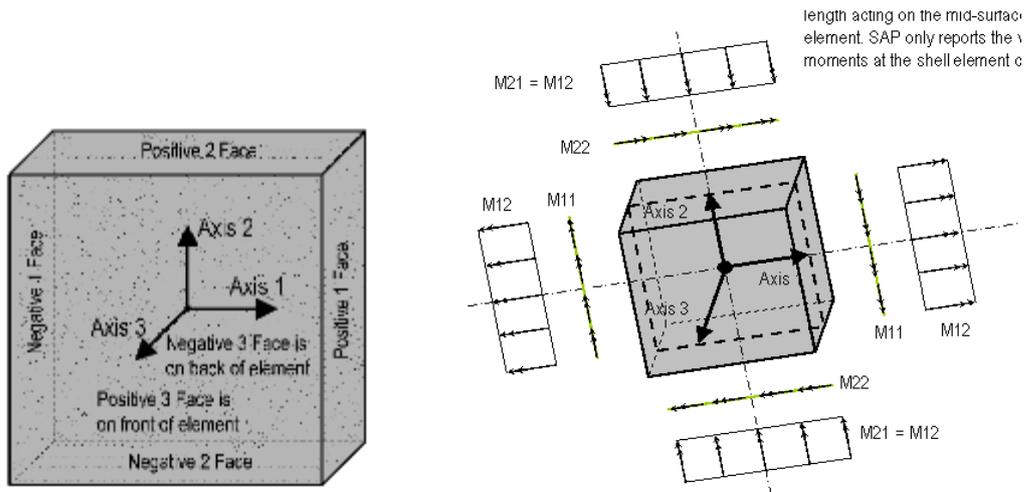


6.4 Convenzione dei segni

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:



 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA		
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 49 di 125	

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 Φ 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 Φ_2 , senza ulteriore riduzione.

Per linee con elevato standard manutentivo $\Phi = \Phi_2$			
	Φ_2	L_Φ [m]	
Verifiche longitudinali	1.06	37.5	semi luce ponte
Verifiche trasversali	1.62	4	2 x interasse trasversi
Verifiche pendino	1.20	16	4 x interasse pendini

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 50 di 125

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

$$n_0 = 1.612 \text{ Hz}$$

I limiti imposti dal DM2008 risultano:

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

pertanto la verifica richiesta sulla prima frequenza flessionale al fine di poter non condurre un'analisi dinamica risulta non soddisfatta.

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 51 di 125

base modale definita dal solo primo modo di vibrare flessionale del trave. Analogamente, 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 flessor-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 46.

Modo	Periodo [s]	Frequenza [Hz]	Massa traslazionale partecipante direzione X (somma) [%]	Massa traslazionale partecipante direzione Y (somma) [%]	Massa traslazionale partecipante direzione Z (somma) [%]
1	0.620	1.612	5.68	0.00	0.02
2	0.420	2.383	5.68	32.72	0.03
3	0.333	3.005	7.06	32.72	34.02
4	0.309	3.234	7.06	38.64	34.03
5	0.273	3.661	19.48	38.89	69.83
6	0.261	3.827	19.61	71.52	69.99
7	0.189	5.291	31.78	71.53	72.60
8	0.180	5.555	31.79	78.32	72.62
9	0.158	6.338	31.87	79.51	72.62
10	0.153	6.523	77.86	79.51	75.24
11	0.138	7.228	87.91	79.51	83.06
12	0.137	7.297	87.92	79.51	83.07
13	0.137	7.300	87.92	79.51	83.07
14	0.135	7.418	87.98	79.76	83.10
15	0.130	7.710	87.98	79.76	83.10
16	0.129	7.735	87.98	79.78	83.10
17	0.123	8.134	88.71	79.81	83.21
18	0.113	8.825	89.08	79.94	83.22
19	0.111	8.972	89.08	79.96	83.43
20	0.111	8.981	89.10	79.96	83.44
21	0.110	9.057	89.10	80.02	83.56
22	0.110	9.065	89.10	80.03	83.59
23	0.109	9.166	89.12	80.19	86.74
24	0.099	10.117	89.28	80.19	86.76
25	0.098	10.187	89.31	80.31	86.76
26	0.096	10.380	89.39	81.43	86.92
27	0.095	10.559	89.55	81.48	87.08
28	0.094	10.653	89.56	81.48	87.28
29	0.093	10.733	89.60	81.60	87.32
30	0.092	10.901	89.65	81.67	87.51
31	0.088	11.306	89.98	81.67	87.52
32	0.083	11.999	89.99	81.69	87.52
33	0.083	12.025	90.02	81.70	87.63

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

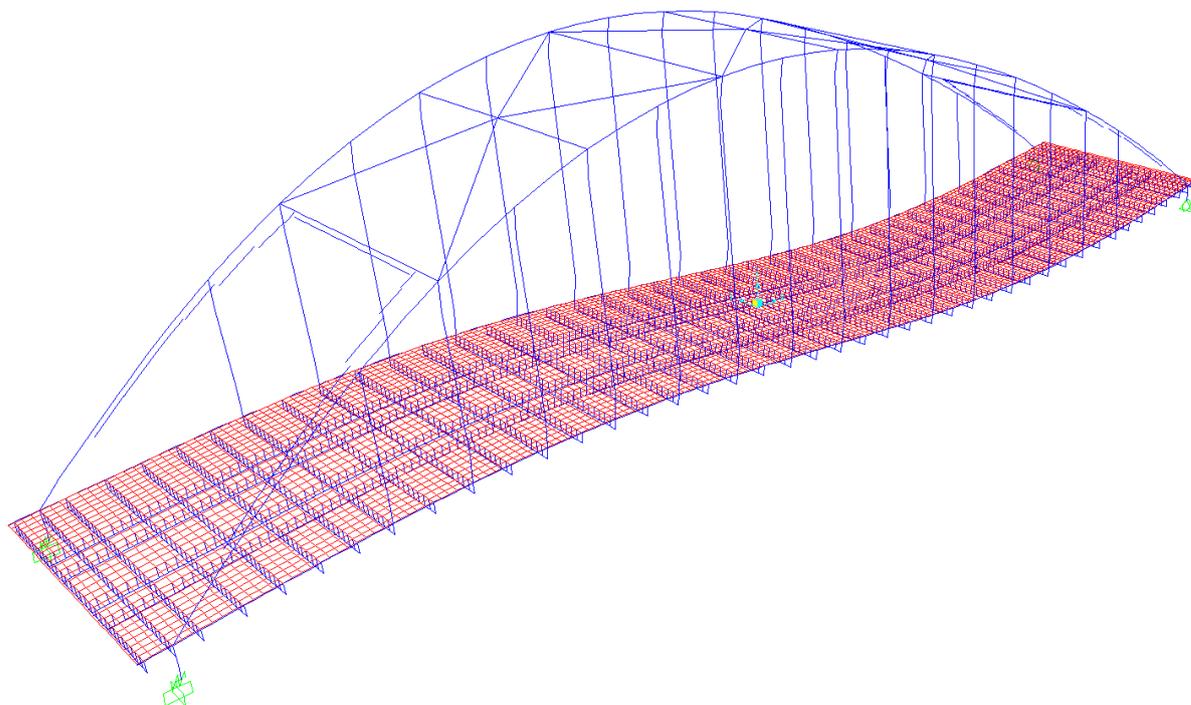
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004BPag.
53 di 125

34	0.080	12.549	90.03	81.74	87.66
35	0.079	12.600	90.03	81.74	87.66
36	0.079	12.606	90.03	81.74	87.66
37	0.079	12.611	90.03	81.74	87.66
38	0.078	12.769	90.07	82.26	87.66
39	0.072	13.958	90.07	82.26	87.67
40	0.071	14.070	90.66	82.29	88.33
41	0.070	14.242	90.66	82.30	88.33
42	0.068	14.738	90.68	82.30	88.34
43	0.067	14.917	90.73	83.62	88.66
44	0.066	15.233	90.73	83.62	88.66
45	0.063	15.966	90.74	83.96	88.66
46	0.062	16.096	90.95	91.06	88.69
47	0.061	16.486	90.95	91.09	88.69
48	0.060	16.766	91.35	91.16	89.10
49	0.058	17.214	91.77	91.30	89.17
50	0.058	17.340	91.78	91.31	89.17

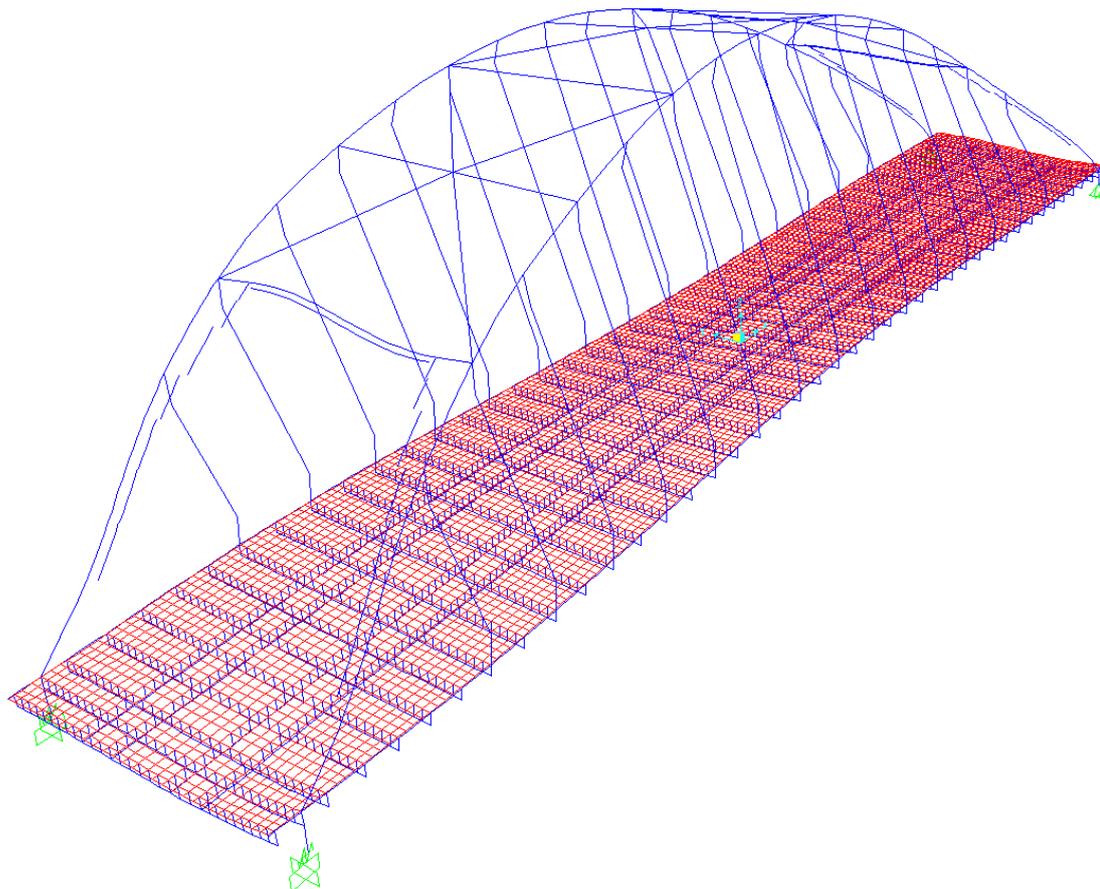
7.2.2.1 FORME MODALI

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

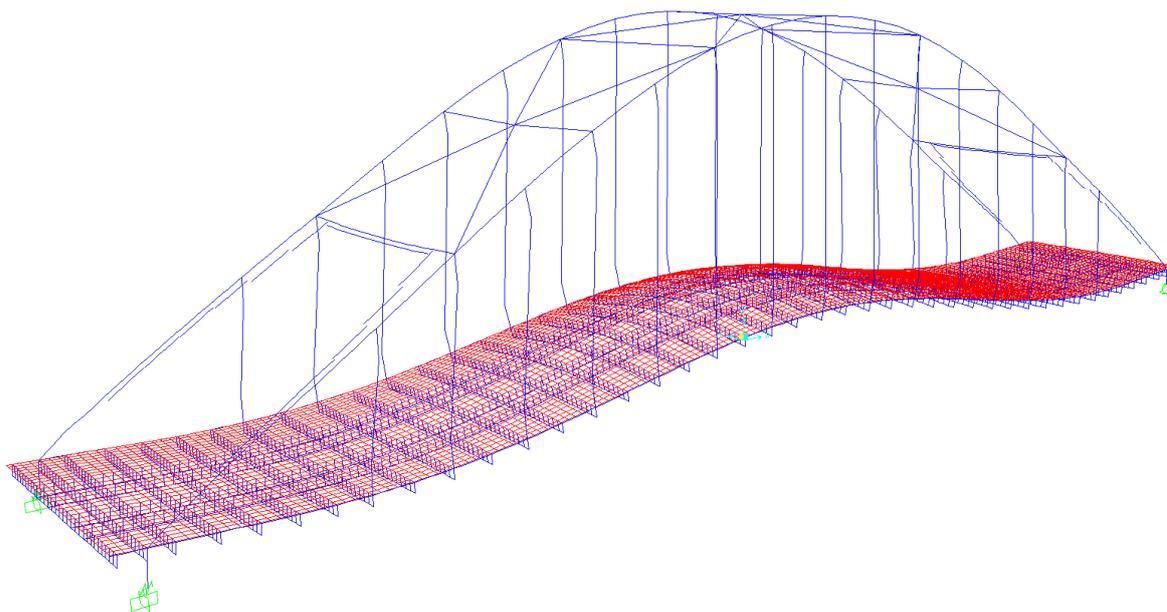
Modo 1: flessionale antisimmetrico nel piano verticale coinvolgente archi e impalcato, frequenza $f = 1.612$ Hz



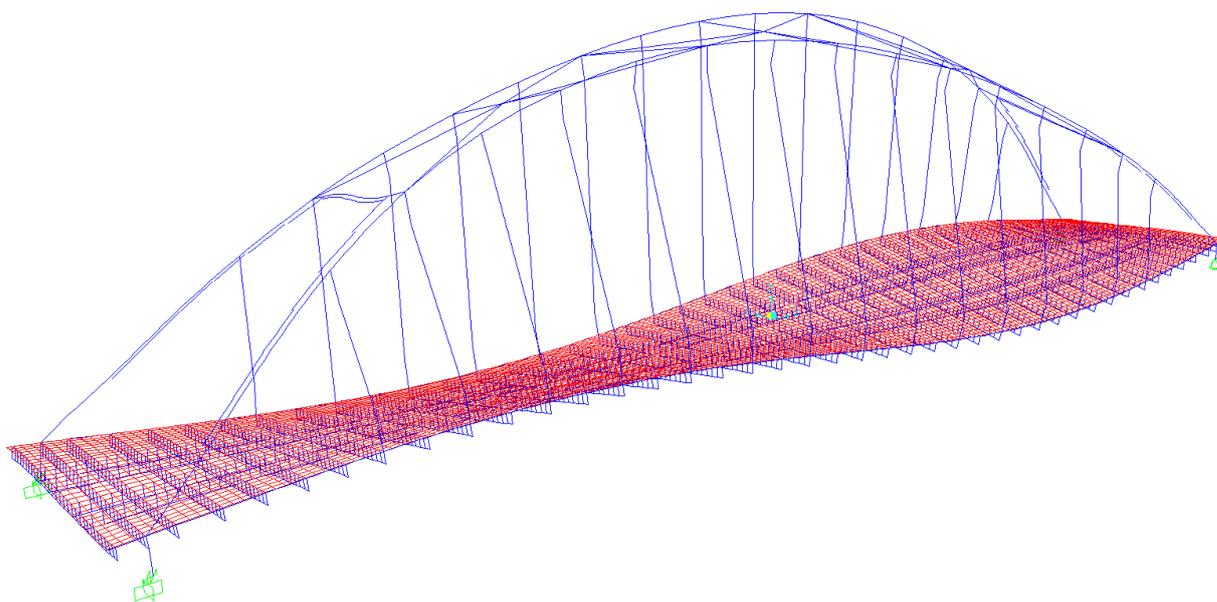
- Modo 2: flessionale simmetrico nel piano orizzontale coinvolgente i soli archi, frequenza $f = 2.383$ Hz



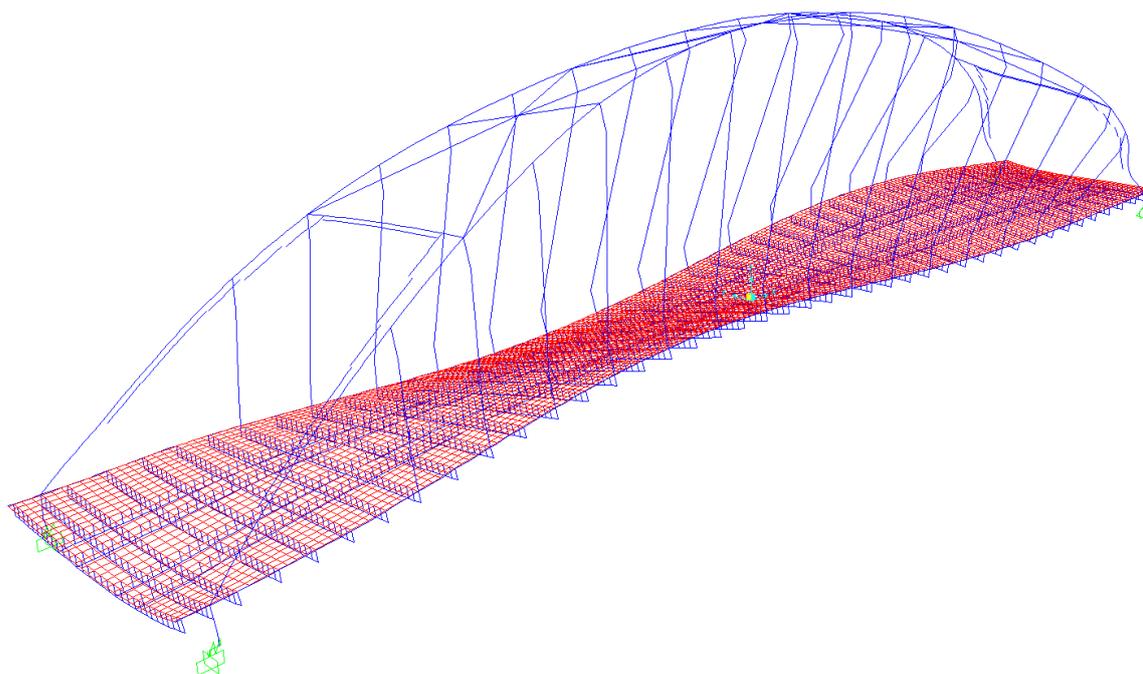
- Modo 3: flessionale simmetrico nel piano verticale coinvolgente archi e impalcato, frequenza $f = 3.005$ Hz



- Modo 4: torsionale antisimmetrico coinvolgente archi e impalcato, frequenza $f = 3.234$ Hz



- Modo 6: torsionale simmetrico coinvolgente archi e impalcato, frequenza $f = 3.827$ Hz



 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 58 di 125

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/s².
- 3) Il coefficiente dinamico reale φ 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 φ'' e' valutato in accordo alla formula 1.4.2.5.2.6., da cui risulta:

$$\varphi''^* = 0.0588$$

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).

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 rigidità e inerzia modali relative al primo modo flessionale e torsionale.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 59 di 125

7.2.3.1.1 MODO FLESSIONALE

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

$$\phi^{(1)} = 0.04052 \sin(0.0599 x) + 0.96377 \sin(0.0844 x), \text{ con } x \in [0, L] \text{ ed } L=75 \text{ m}$$

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, $m^{(1)} = 0.486 M$ dove M è la massa totale dell'impalcato pari a $M = 3.1428 \times 10^6$ kg.

Frequenza del primo modo $f^{(1)} = 1.612$ Hz, corrispondente ad una frequenza circolare $\omega^{(1)} = 10.128$ rad/sec.

Rigidezza modale $k^{(1)} = 1.5565 \times 10^8$ N/m.

Smorzamento modale $r^{(1)} = 1.236 \times 10^6$ N sec/m.

7.2.3.1.2 MODO TORSIONALE

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

$$\phi^{(1)} = 0.2301 \sin(0.04957 x) - 0.9186 \sin(0.08236 x), \text{ con } x \in [0, L] \text{ ed } L=75 \text{ m}$$

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, $J_m^{(1)} = 0.388 J_M$ dove J_M è la massa rotazionale totale dell'impalcato pari a $J_M = 3.485 \times 10^7$ kg m².

Frequenza del primo modo $f^{(1)} = 3.234$ Hz, corrispondente ad una frequenza circolare $\omega^{(1)} = 20.32$ rad/sec.

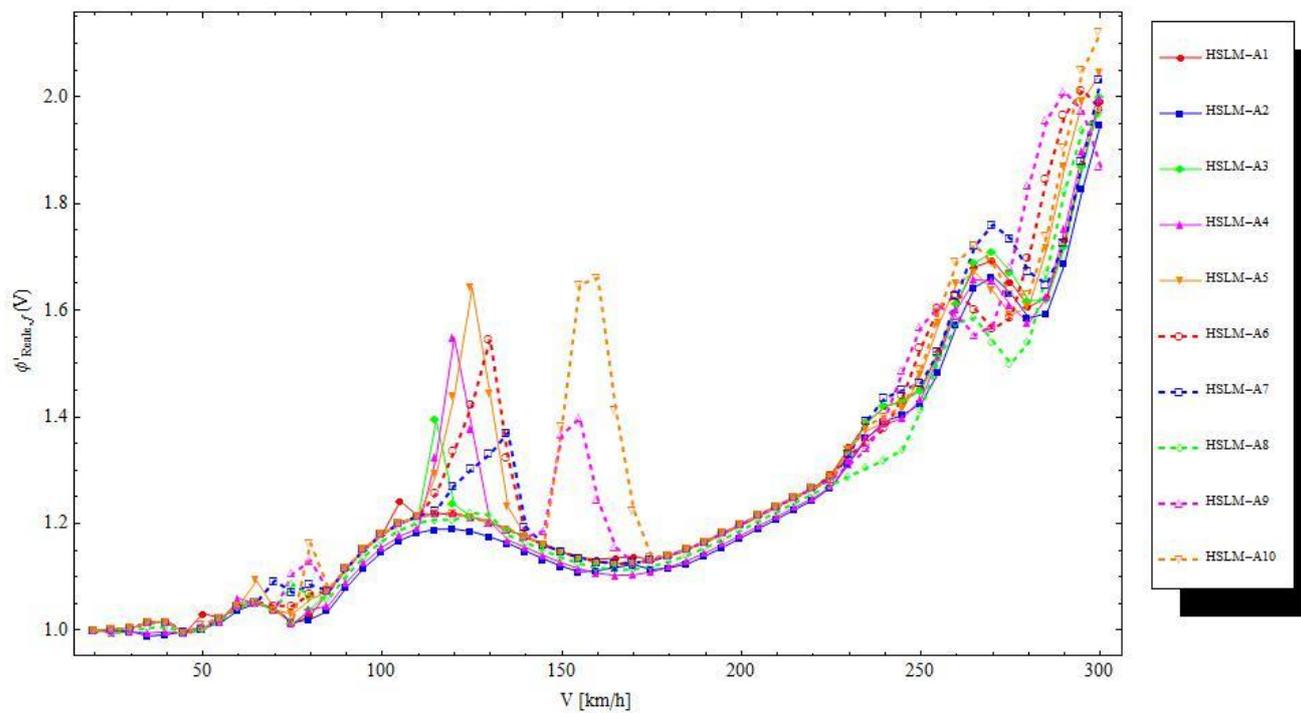
Rigidezza modale $k^{(1)} = 5.589 \times 10^9$ Nm.

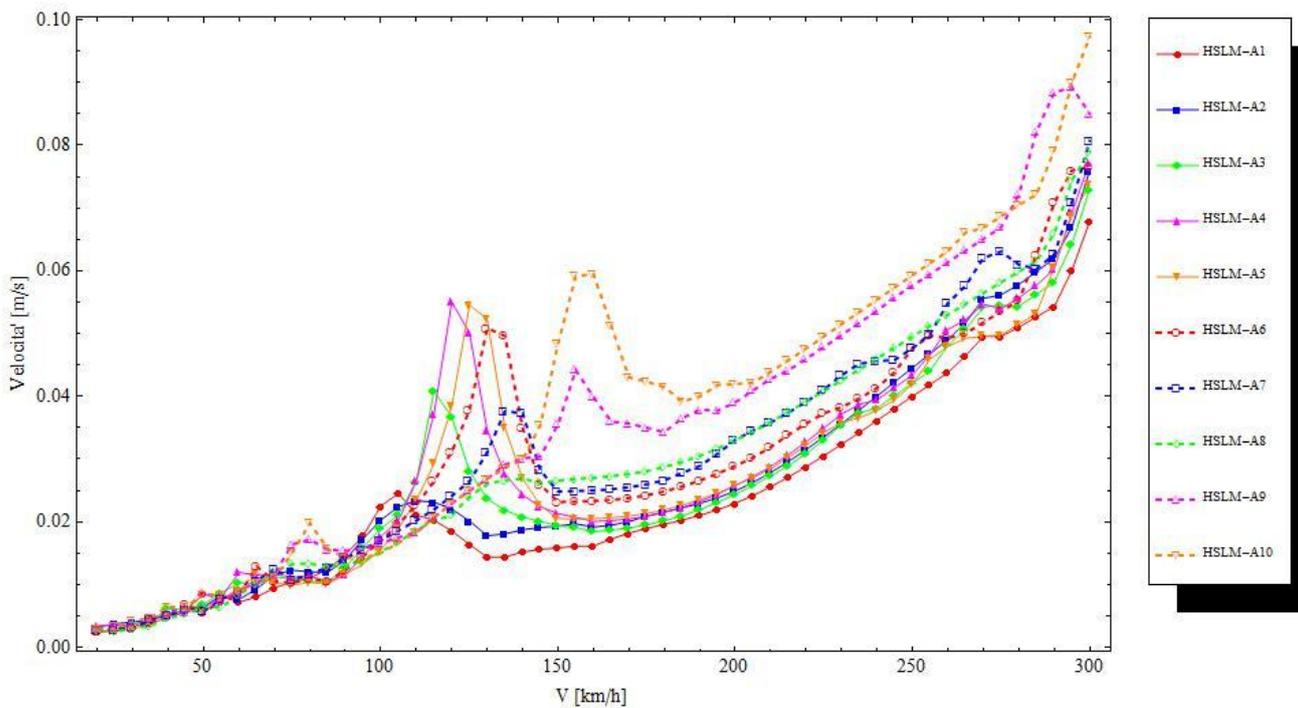
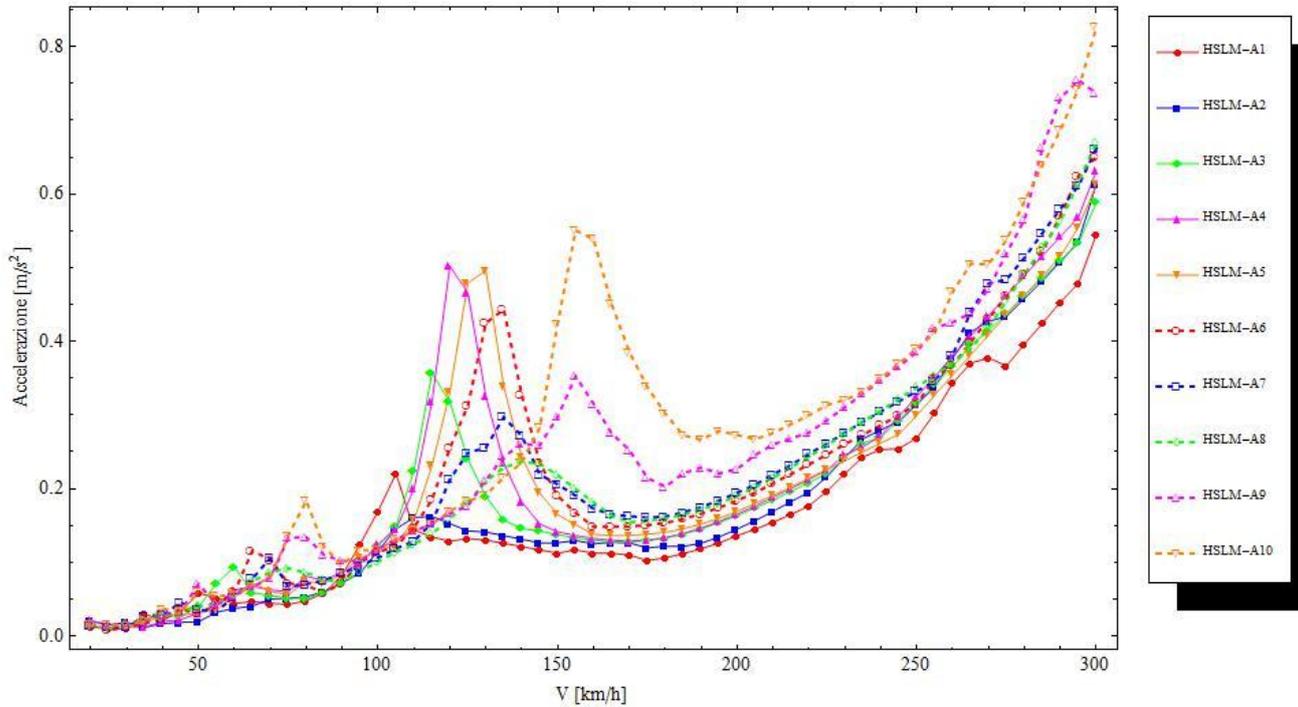
Smorzamento modale $r^{(1)} = 2.2005 \times 10^7$ N m sec.

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 $\varphi'_{\text{Reale},f}(V)$, 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.

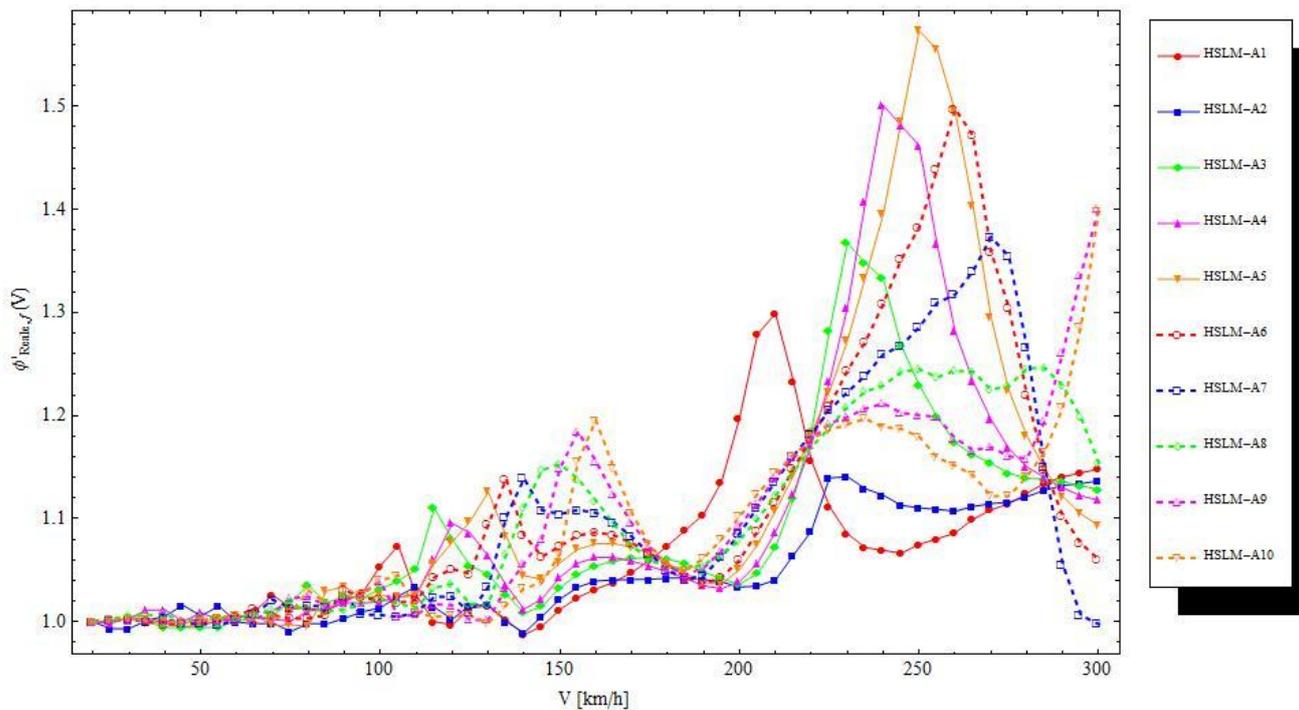
I massimi valori delle tre quantità sono riportati nella seguente tabella indicante il modello di carico e la velocità di progetto a cui si attingono tali massimi valori:

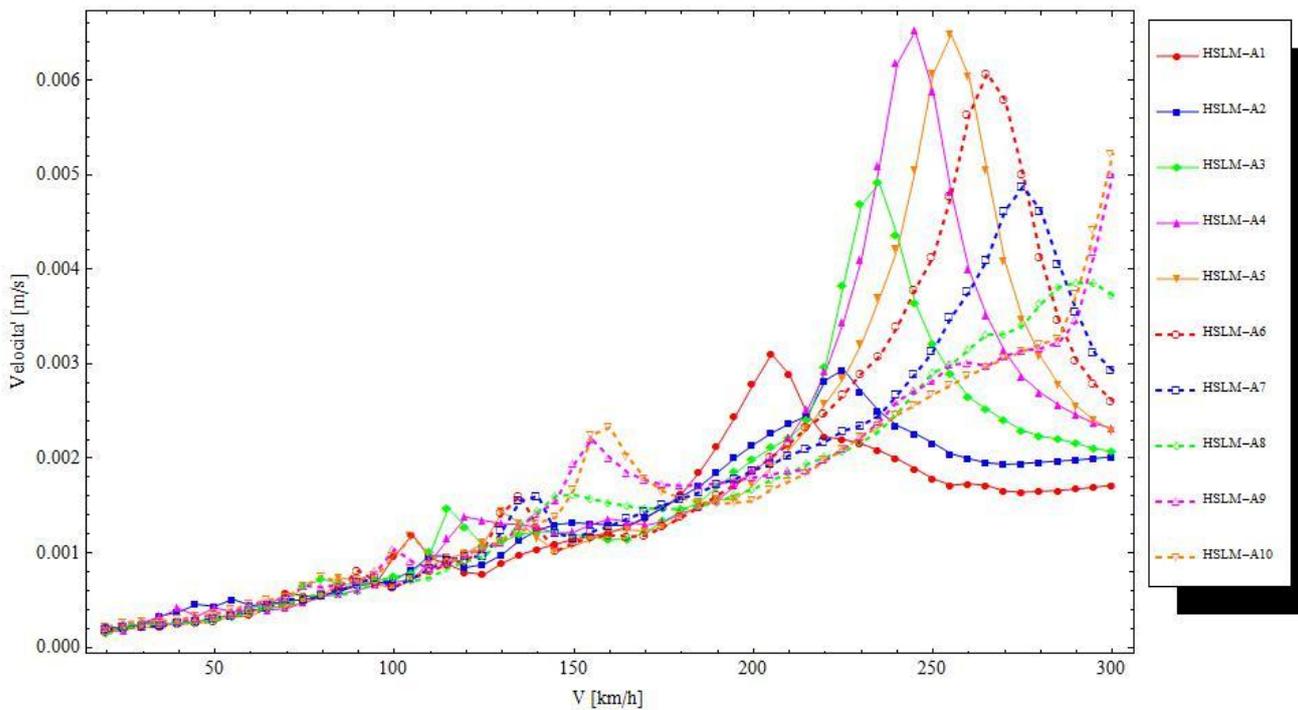
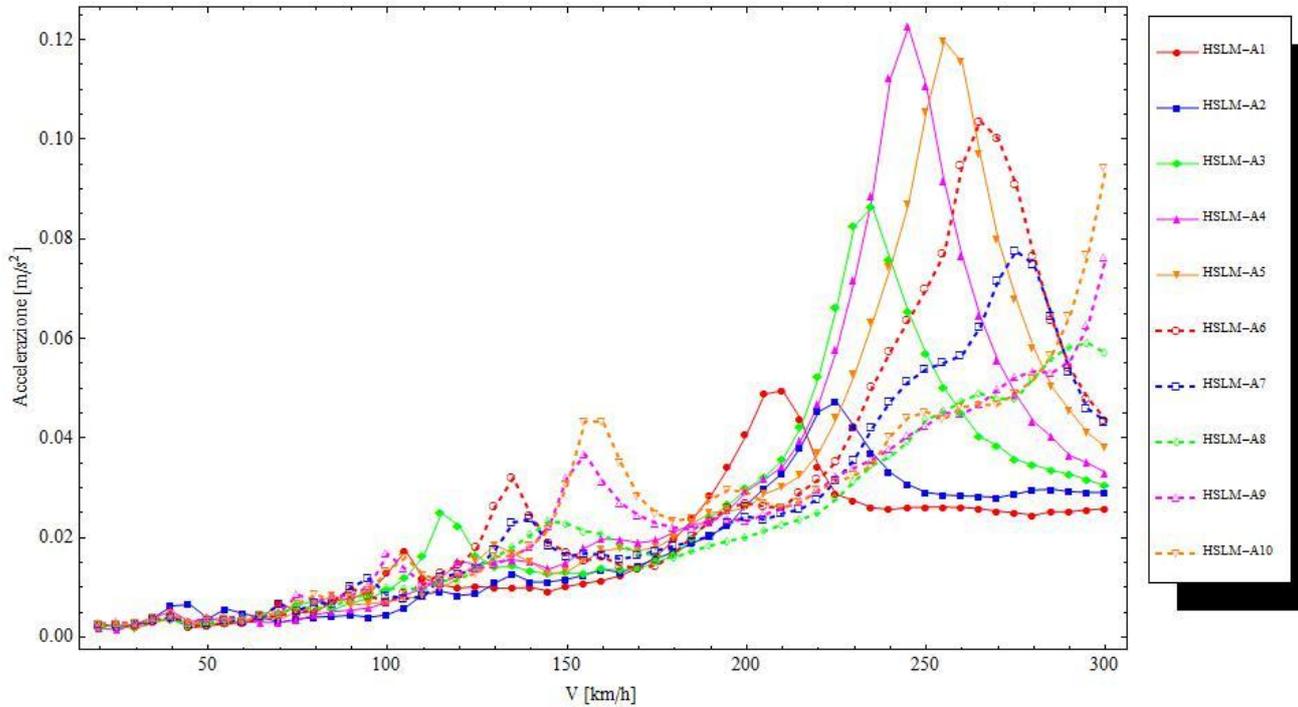
Treno di carico	Velocità di progetto [km/h]	$\varphi'_{\text{Reale},f}$	Accelerazione [m/s ²]	Velocità [m/s]
HSLM-A10	300	2.12	0.826	0.097

Infine, il coefficiente dinamico reale massimo φ risulta pari a

$$\varphi = 2.178$$

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 ²]	Velocità [m/s]
HSLM-A4	245	-	0.122	0.0065
HSLM-A5	250	1.57	-	-

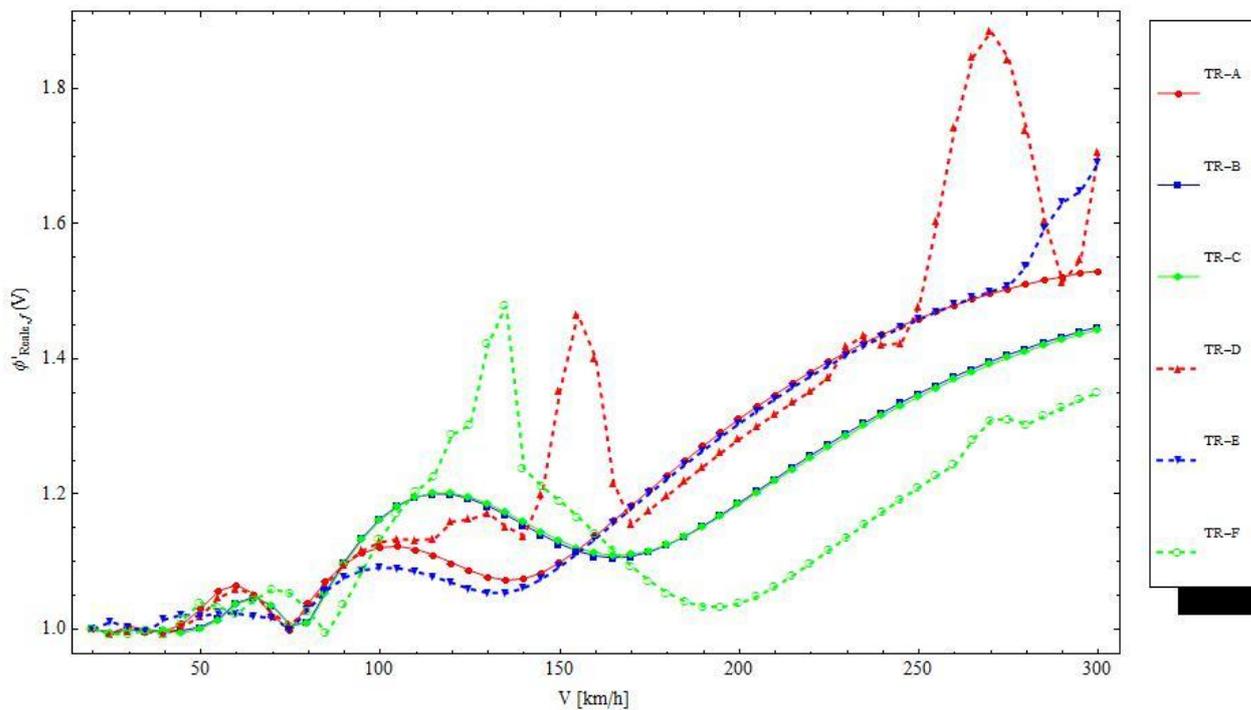
Infine, il coefficiente dinamico reale massimo φ risulta pari a

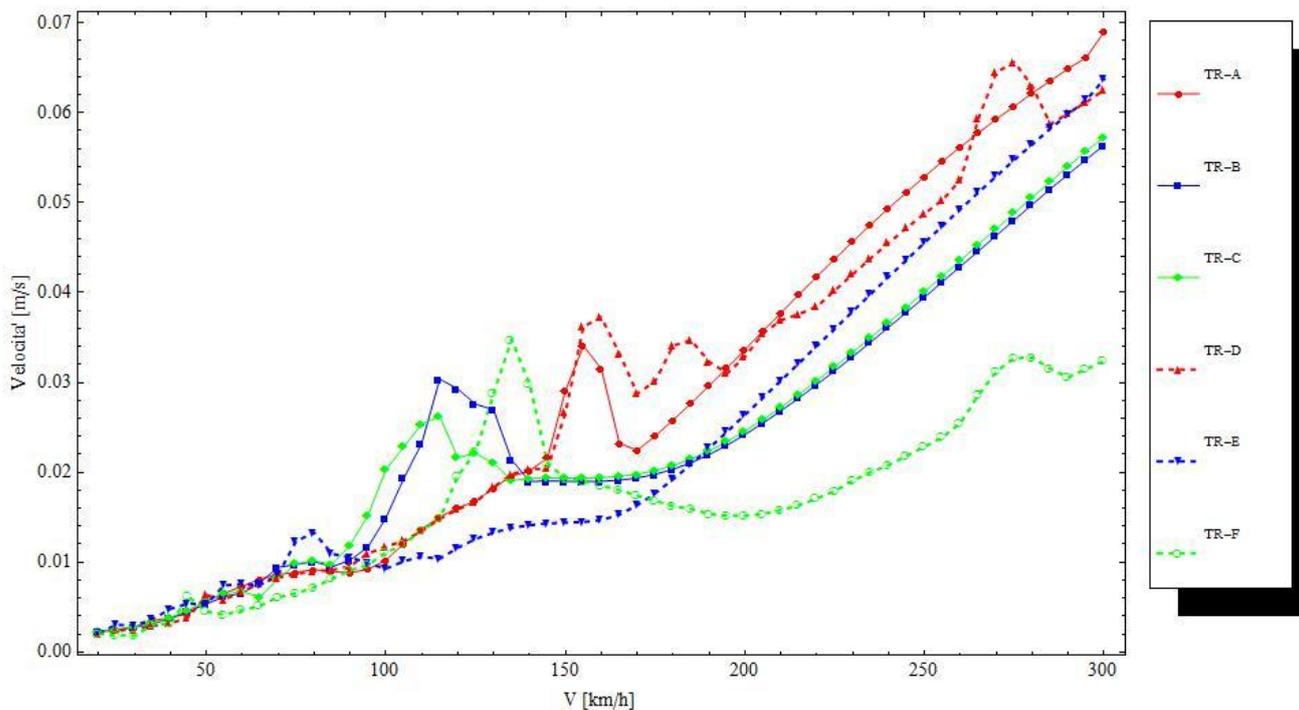
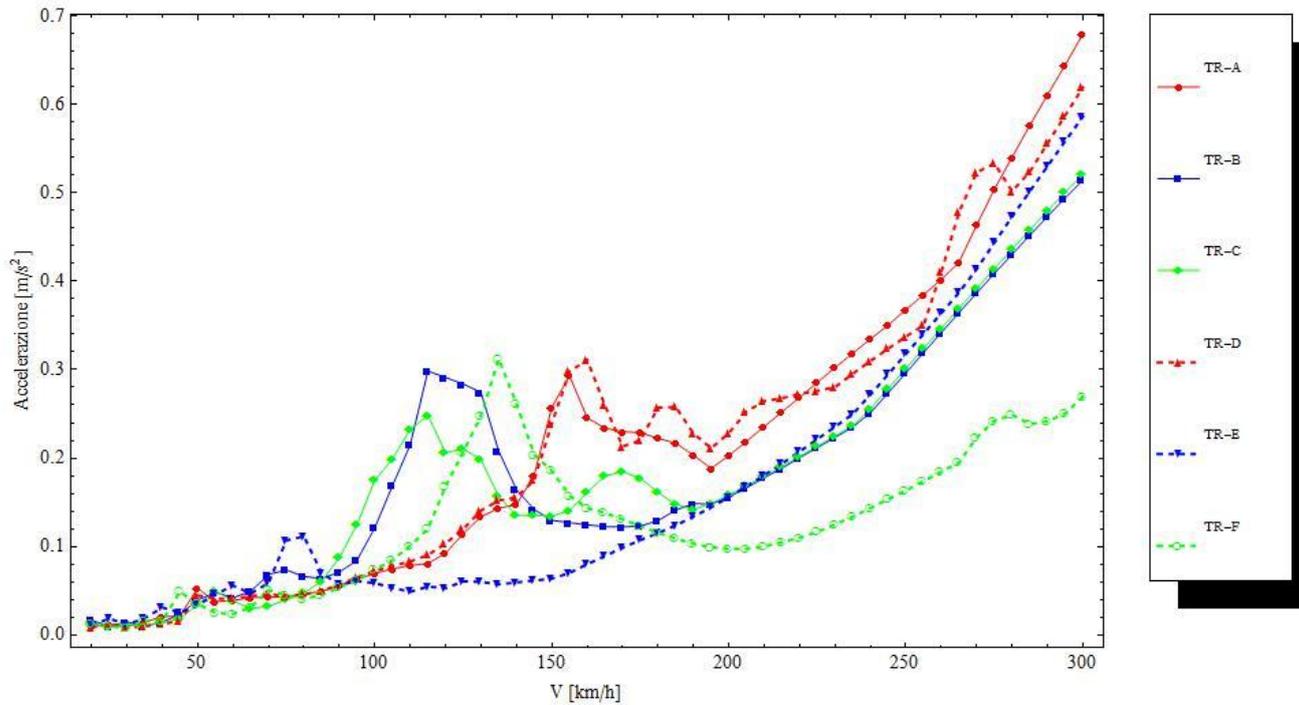
$$\varphi = 1.629$$

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.

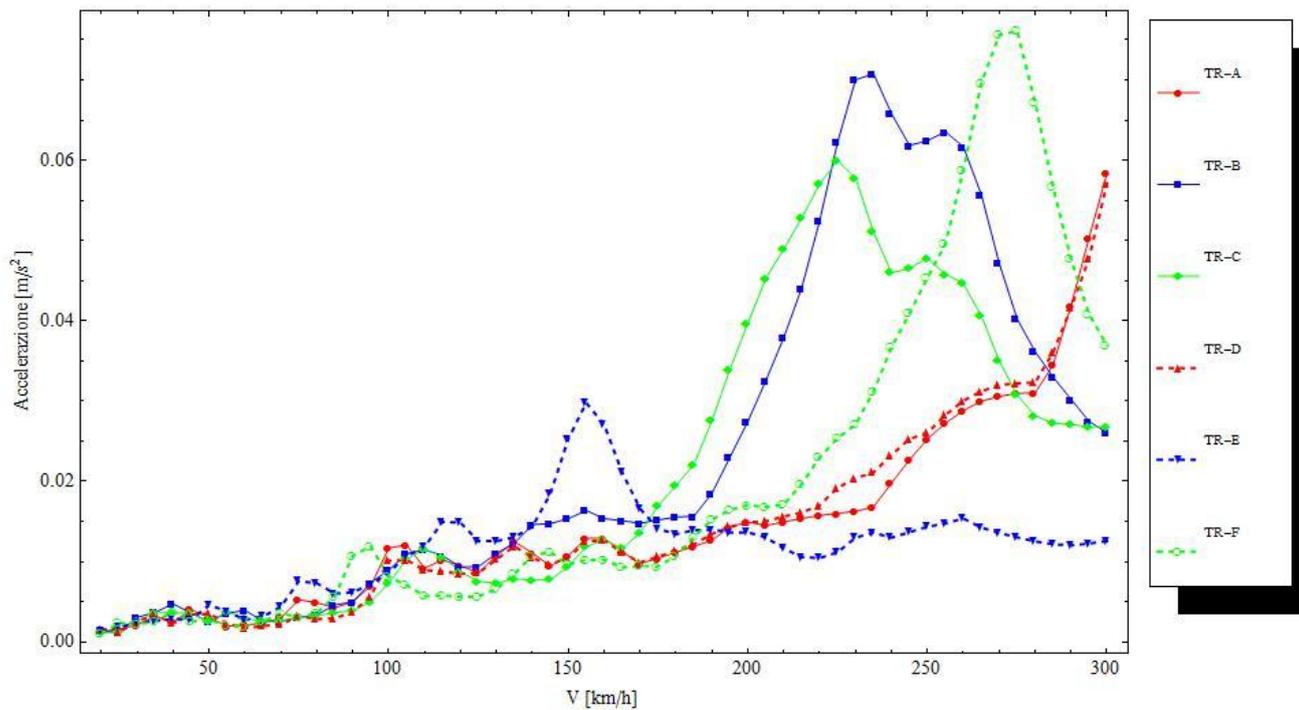
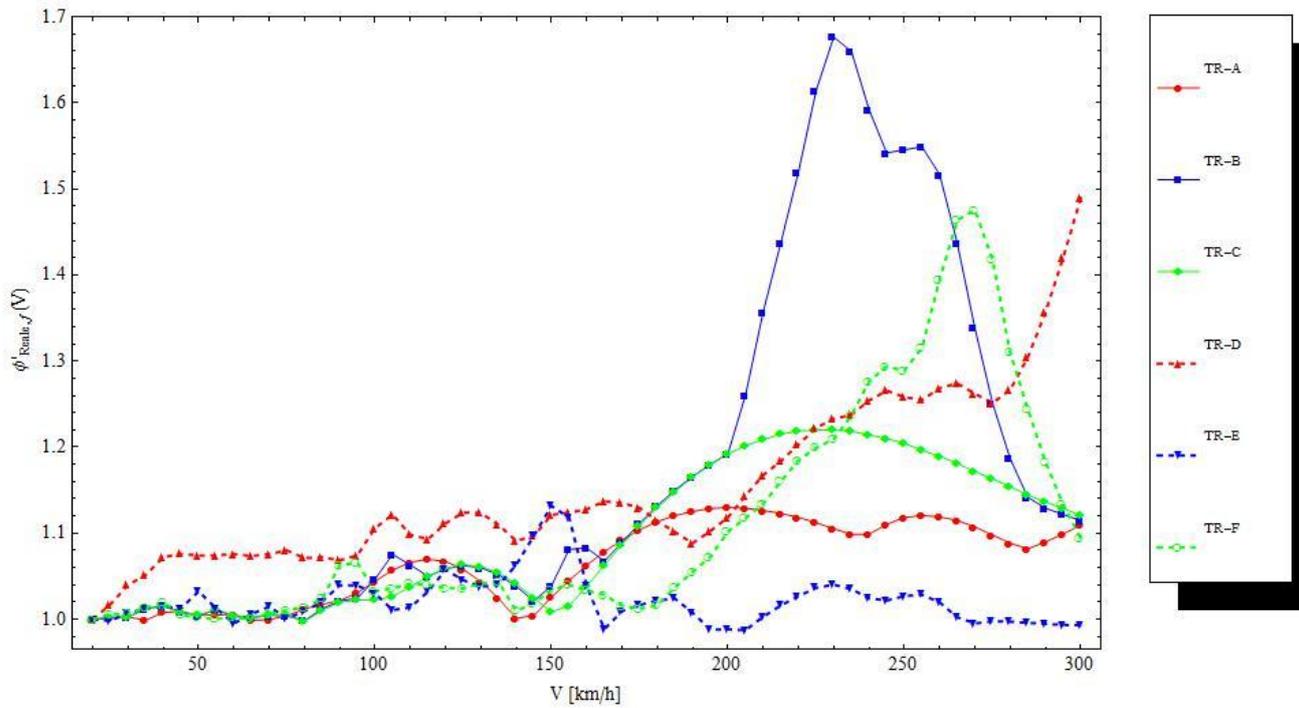
I massimi valori delle tre quantità sono riportati nella seguente tabella indicante il modello di carico e la velocità di progetto a cui si attingono tali massimi valori:

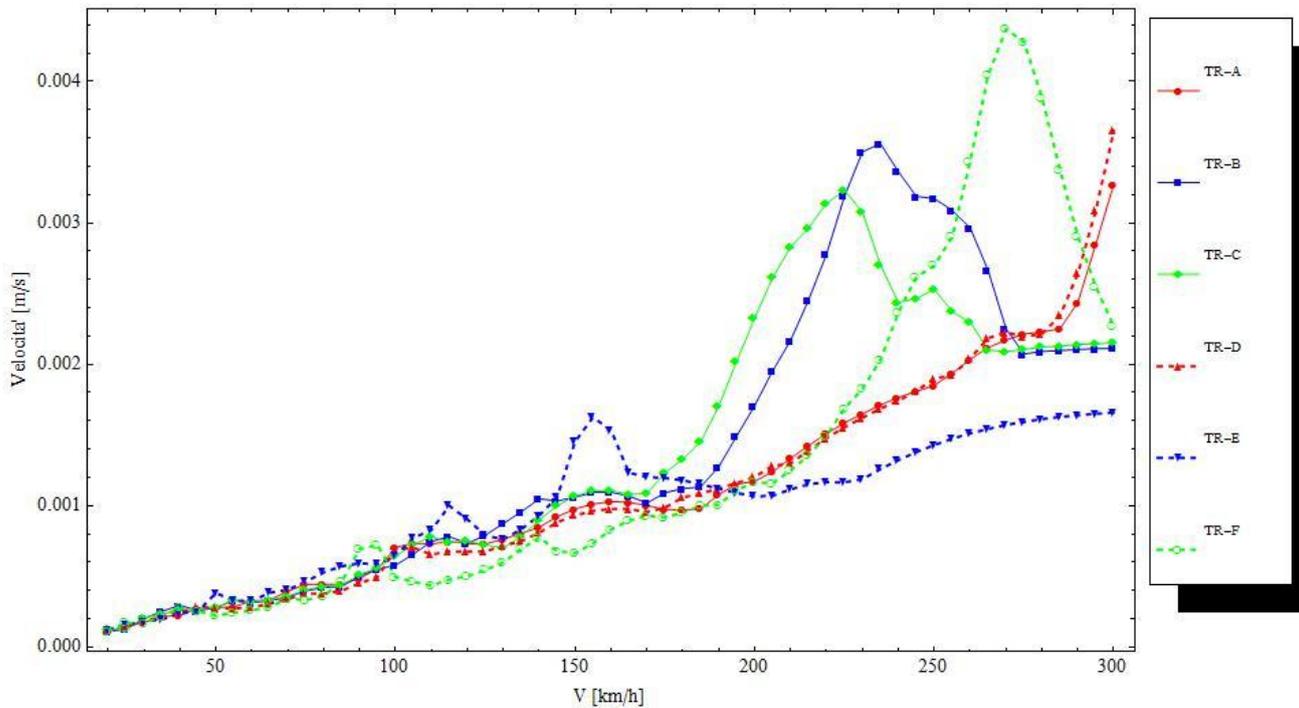
Treno di carico	Velocità di progetto [km/h]	$\varphi'_{\text{Reale},f}$	Accelerazione [m/s ²]	Velocità [m/s]
TR-A	300	-	0.679	0.069
TR-D	270	1.88	-	-

Infine, il coefficiente dinamico reale massimo φ risulta pari a

$$\varphi = 1.939$$

7.2.3.3.2 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 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 ²]	Velocità [m/s]
TR-B	230	1.676	-	-
TR-F	270	-	-	0.0044
TR-F	275	-	0.076	-

Infine, il coefficiente dinamico reale massimo φ risulta pari a

$$\varphi = 1.735$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 70 di 125

7.2.3.4 CONSIDERAZIONI FINALI

Dai risultati dell'analisi dinamica emerge che il passaggio del modello di carico **HLSLM-10** provoca la maggiore amplificazione dinamica, con un coefficiente $\phi'_{\text{Reale}} = 2.12$, da cui $\phi'_{\text{Reale}} + \phi''^* = \phi = 2.18$. Inoltre, l'accelerazione trasversale e torsionale massima valutata sull'impalcato è pari a 0.826 m/s^2 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^2

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

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

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 HSLM-10.

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA		
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.		
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B			Pag. 71 di 125

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]
HSLM-A10	1.867	0.771	10.681	HSLM-A10	-0.951	-0.219	-16.04
LM71	2.774	1.134	13.988	LM71	-1.302	-0.231	-21.348
SW2	3.261	1.278	16.401	SW2	-1.478	-0.262	-24.875

Spostamenti massimi archi				Spostamenti minimi archi			
	U1	U2	U3		U1	U2	U3
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
HSLM-A10	11.32	1.971	10.764	HSLM-A10	-10.511	-1.784	-15.529
LM71	14.879	2.741	14.127	LM71	-13.805	-2.152	-20.661
SW2	17.785	3.106	16.544	SW2	-16.571	-2.496	-24.14

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]
HSLM-A10	3074.5	-2160.0	2420.2	-1863.1
LM71	3769.5	-3029.9	3117.2	-2624.9
SW2	4517.1	-3455.8	3799.2	-3004.0

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 72 di 125

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:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 73 di 125

- 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.

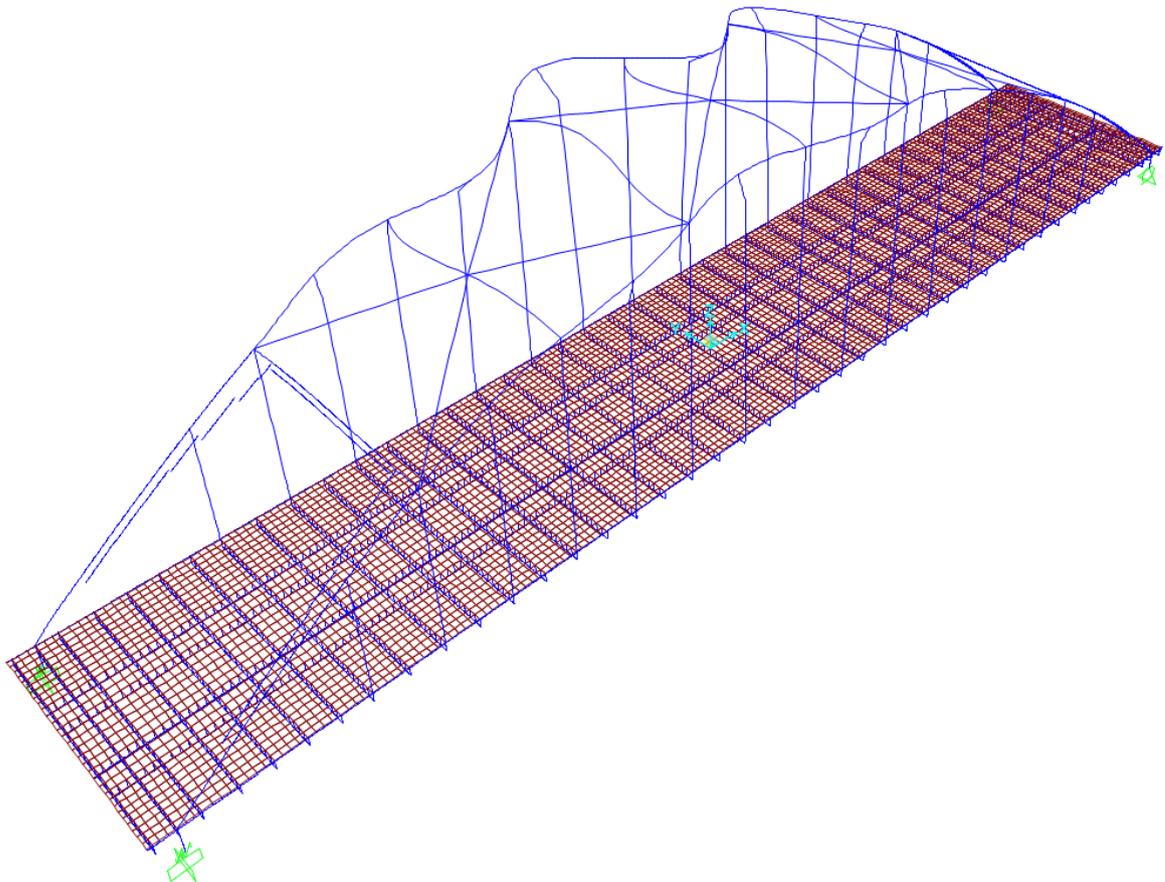
L'analisi agli autovalori condotta, consiste nel determinare il moltiplicatore di carico α che induce perdita di rigidezza globale della struttura ovvero calcolare il più basso autovalore corrispondente al primo modo globale di buckling del ponte.

8.2.1 Combinazione a)

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

$$\alpha_a = 17.82$$

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



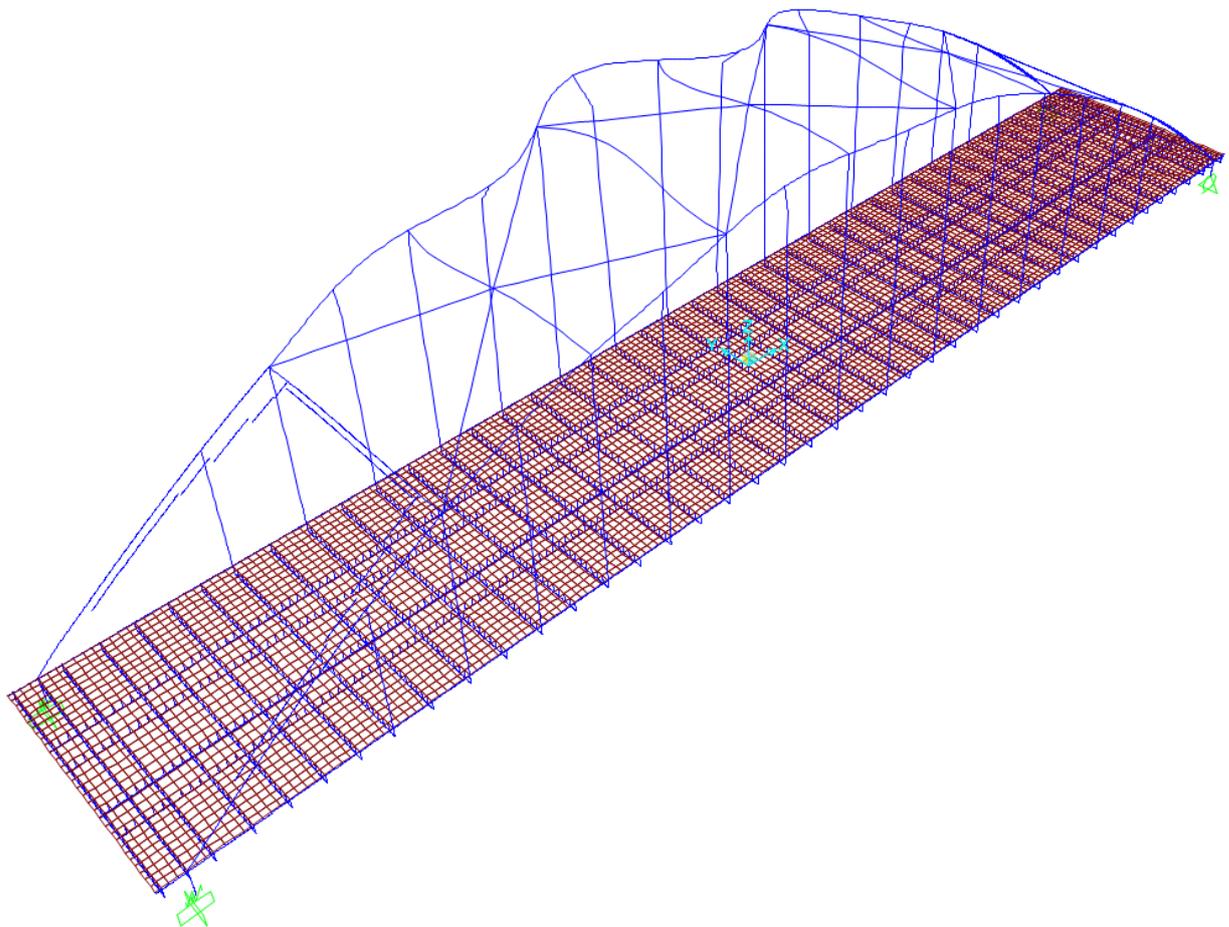
8.2.2 Combinazione b)

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

a:

$$\alpha_b = 17.13$$

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



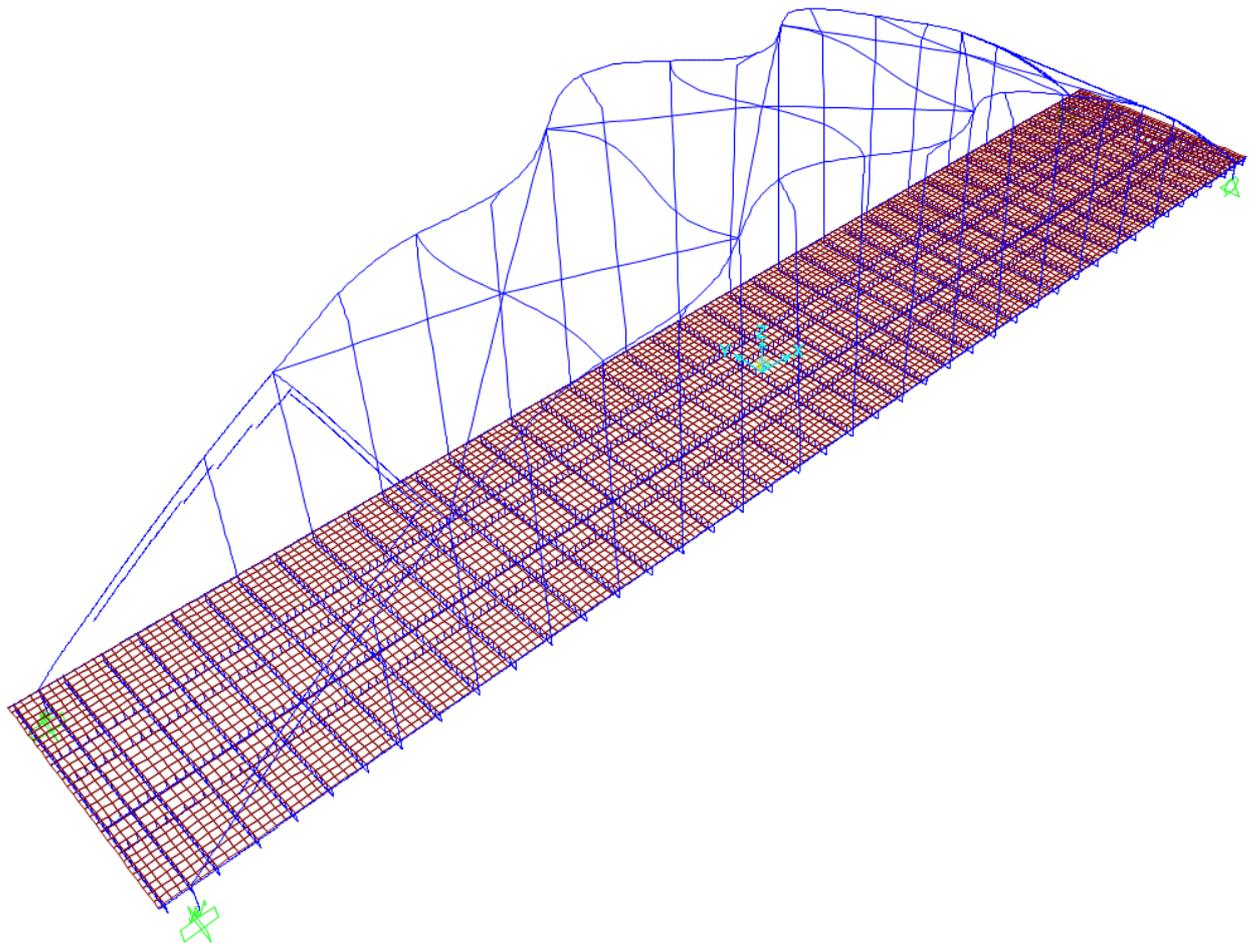
8.2.3 Combinazione c)

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

a:

$$\alpha_c = 17.36$$

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



 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 77 di 125

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 α 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 $\alpha_b = 17.13$, valutato per la combinazione di carico b), risulta $\alpha_a > \alpha_{cr}$, la verifica si ritiene soddisfatta.

9 VERIFICA 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.

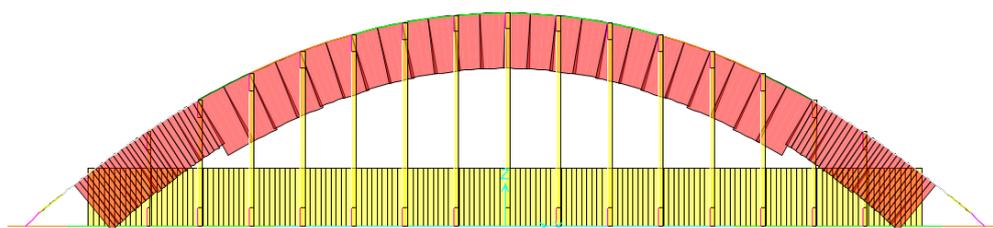
9.1 Stato di sollecitazione

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

9.1.1 Pesì propri strutturali e permanenti portati

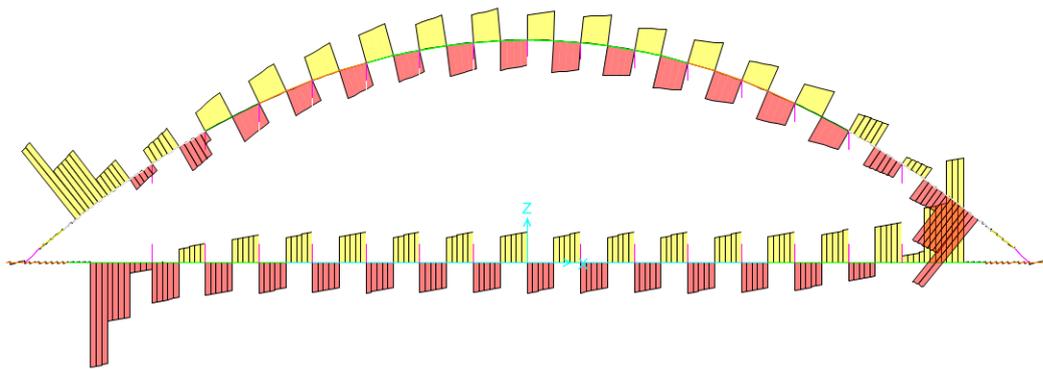
Sforzo Assiale:

$$P_{\max} = 11330 \text{ kN}, P_{\min} = -12262 \text{ kN}$$



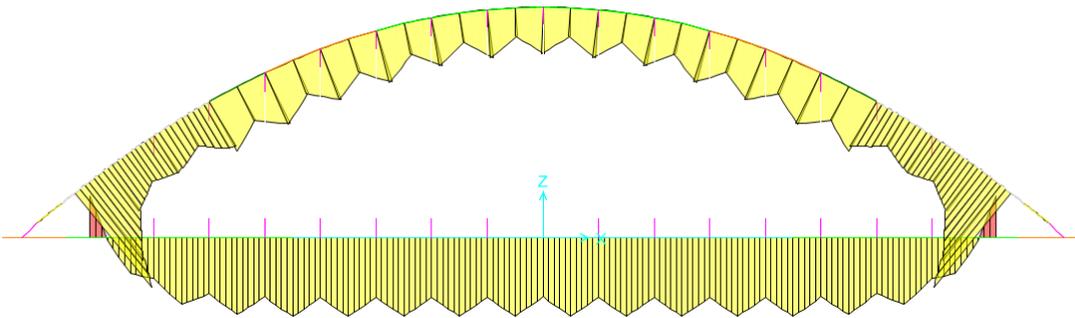
Taglio:

$V_{2_{max}} = 871 \text{ kN}$, $V_{2_{min}} = -872 \text{ kN}$



Momento:

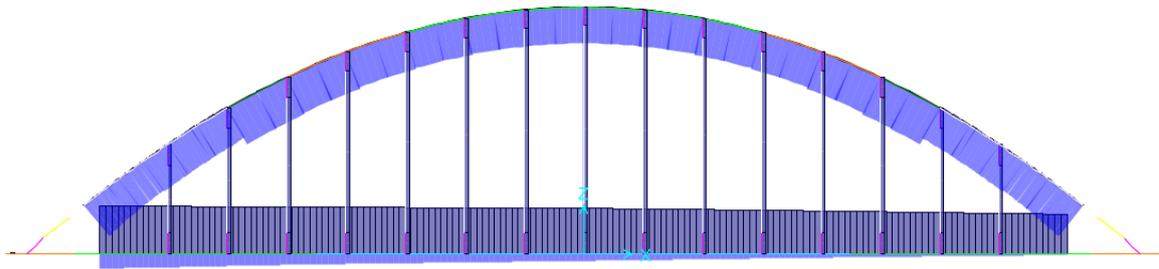
$M_{3_{max}} = 2946 \text{ kN}$, $M_{3_{min}} = -996 \text{ kN}$



9.1.2 Involuppo azioni da traffico

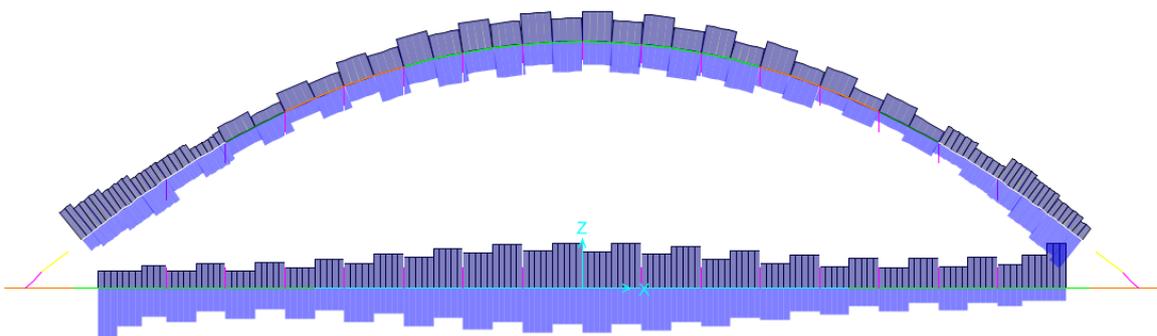
Sforzo Assiale:

$$P_{\max} = 6450 \text{ kN}, P_{\min} = -5572 \text{ kN}$$



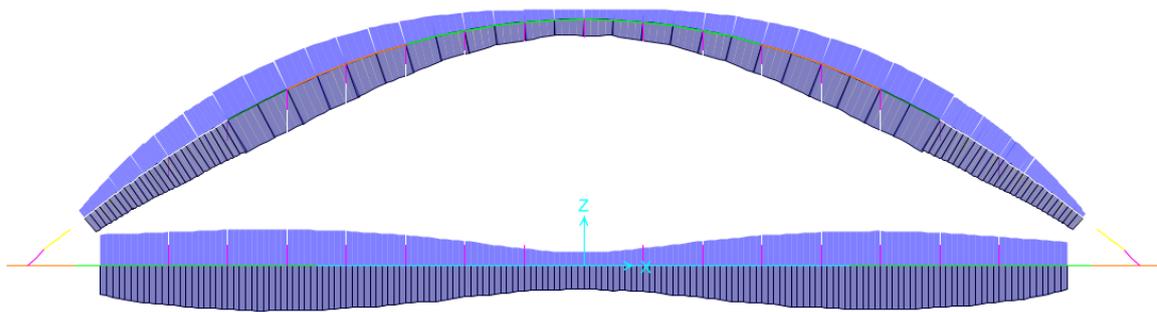
Taglio:

$$V_{2\max} = 759 \text{ kN}, V_{2\min} = -852 \text{ kN}$$



Momento:

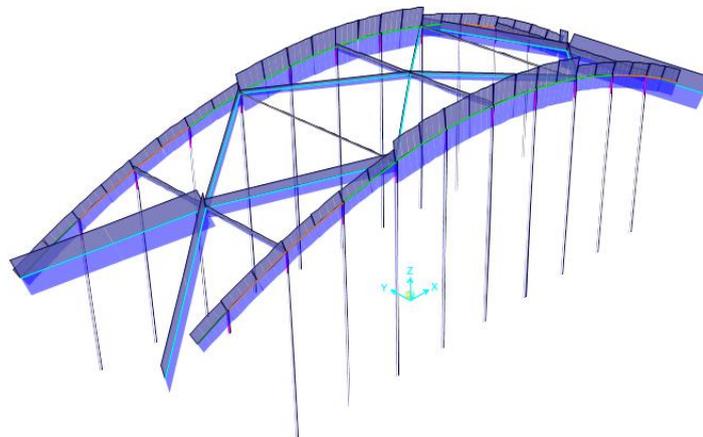
$M_{3_{max}} = 7743 \text{ kN}$, $M_{3_{min}} = -6166 \text{ kN}$



9.1.3 Sisma in direzione trasversale

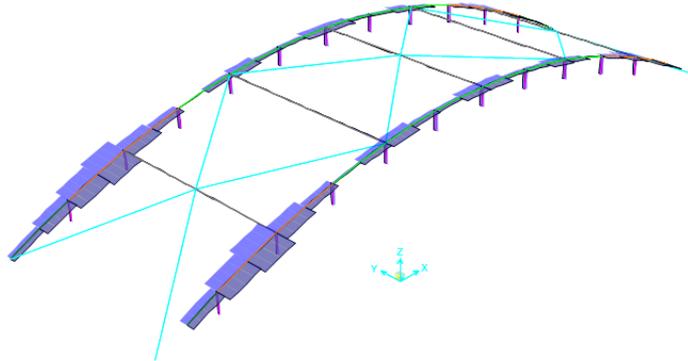
Sforzo Assiale:

$P_{max} = 1272 \text{ kN}$, $P_{min} = -1272 \text{ kN}$



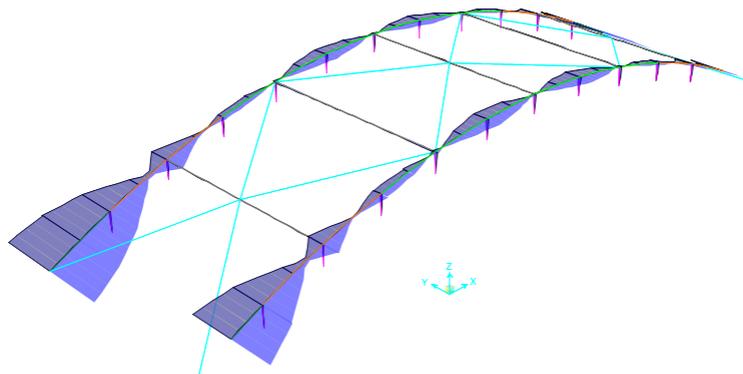
Taglio:

$V_{3_{\max}} = 198 \text{ kN}$, $V_{3_{\min}} = -198 \text{ kN}$

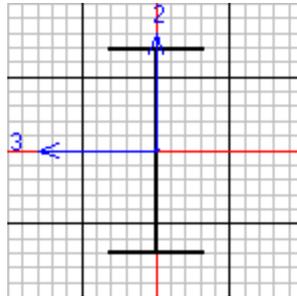
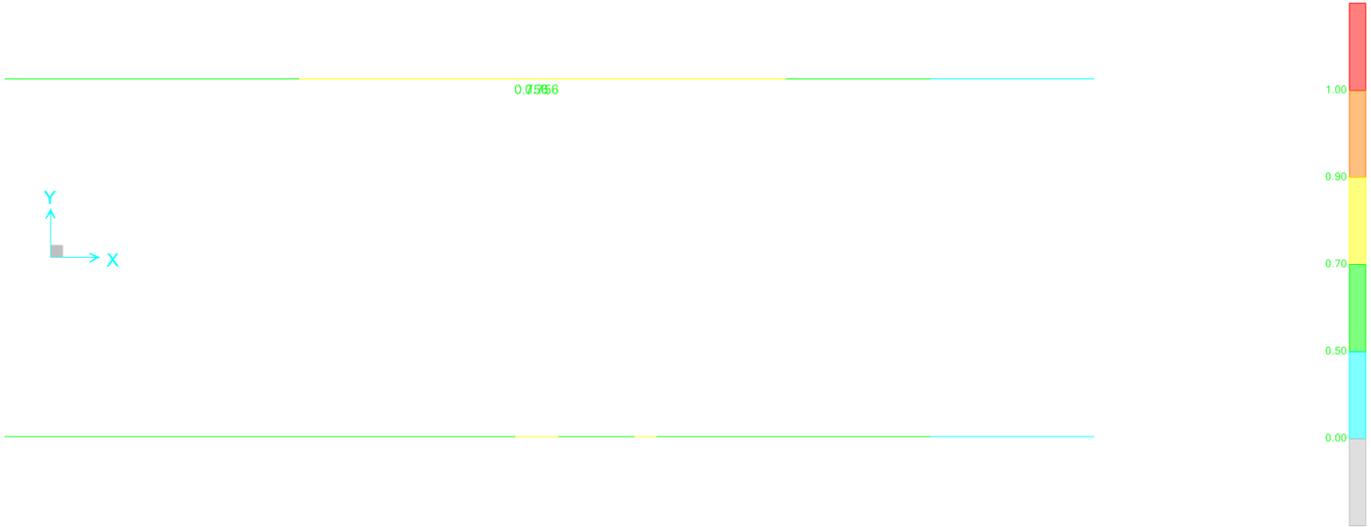


Momento:

$M_{2_{\max}} = 768 \text{ kN}$, $M_{2_{\min}} = -768 \text{ kN}$



9.2 Travi



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : Trave-2-14X Mid: 18.200
 Length: 0.400 Y Mid: 6.660
 Loc : 0.000 Z Mid: 0.000

Combo: SLU-TRAFF
 Shape: TraveCorr
 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=0.165	eNy=0.000	eNz=0.000		
A=0.165	Iyy=0.125	iyz=0.871	Wel,yy=0.114	Weff,yy=0.113
It=8.628E-05	Izz=0.007	izz=0.201	Wel,zz=0.013	Weff,zz=0.013
Iw=0.008	Iyz=0.000	h=2.200	Wpl,yy=0.131	Av,z=0.080
E=210000000.0	fy=355000.000	fu=510000.000	Wpl,zz=0.021	Av,y=0.085

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.

84 di 125

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.000	22000.211	12963.792	-98.651	-292.491	34.933	2.777

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0.756	= 0.395	+ 0.339	+ 0.022	0.990	OK

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
	22000.211	55718.095	55718.095

Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
55718.095	60514.560	126209297.2	126209297.2	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
MajorB(y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
Minor (z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
MinorB(z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
Torsional TF	c 0.490	126209297.2	0.022	0.457	1.000	55718.095

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	12963.792	12963.792	38257.935	38257.935	30869.125	38257.935
Minor (z-z)	-98.651	-99.323	4515.582	4515.582	4515.582	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d 0.760	0.021	0.432	1.000	1.004	93837736.5

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)	998.905	16552.899	0.060	OK	2.777
Minor (y)	34.933	15615.943	0.002	OK	2.777

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
	16552.899	1.000	0.754

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

Major (V2)	VMajor Left	VMajor Right
	998.905	1007.213

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Flexural Details for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : Trave-2-14X	Mid: 18.200	Combo: SLU-TRAFF	Design Type: Beam
Length: 0.400	Y Mid: 6.660	Shape: TraveCorr	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

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.

85 di 125

Ignore Seismic Code? No

Ignore Special EQ Load? 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

Aeff=0.165
A=0.165
It=8.628E-05
Iw=0.008
E=210000000.0

eNy=0.000
Iyy=0.125
Izz=0.007
Iyz=0.000
fy=355000.000

eNz=0.000
iyy=0.871
izz=0.201
h=2.200
fu=510000.000

Wel, yy=0.114
Wel, zz=0.013
Wpl, yy=0.131
Wpl, zz=0.021

Weff, yy=0.113
Weff, zz=0.013
Av, z=0.080
Av, y=0.085

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med, yy	Med, zz	Ved, z	Ved, y	Ted
0.000	22000.211	12963.792	-98.651	-292.491	34.933	2.777

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0.756	= 0.395	+ 0.339	+ 0.022	0.990	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1.000	5.000	2.296
Major Braced	1.000	5.000	2.296
Minor (z-z)	1.000	1.000	1.987
Minor Braced	1.000	1.000	1.987
LTB	1.000	1.000	1.987

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc, Rd Capacity	Nt, Rd Capacity
Axial	22000.211	55718.095	55718.095

	Npl, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag
	55718.095	60514.560	126209297.2	126209297.2	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd
Major (y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
MajorB(y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
Minor (z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
MinorB(z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
Torsional TF	c 0.490	126209297.2	0.022	0.457	1.000	55718.095

MOMENT DESIGN

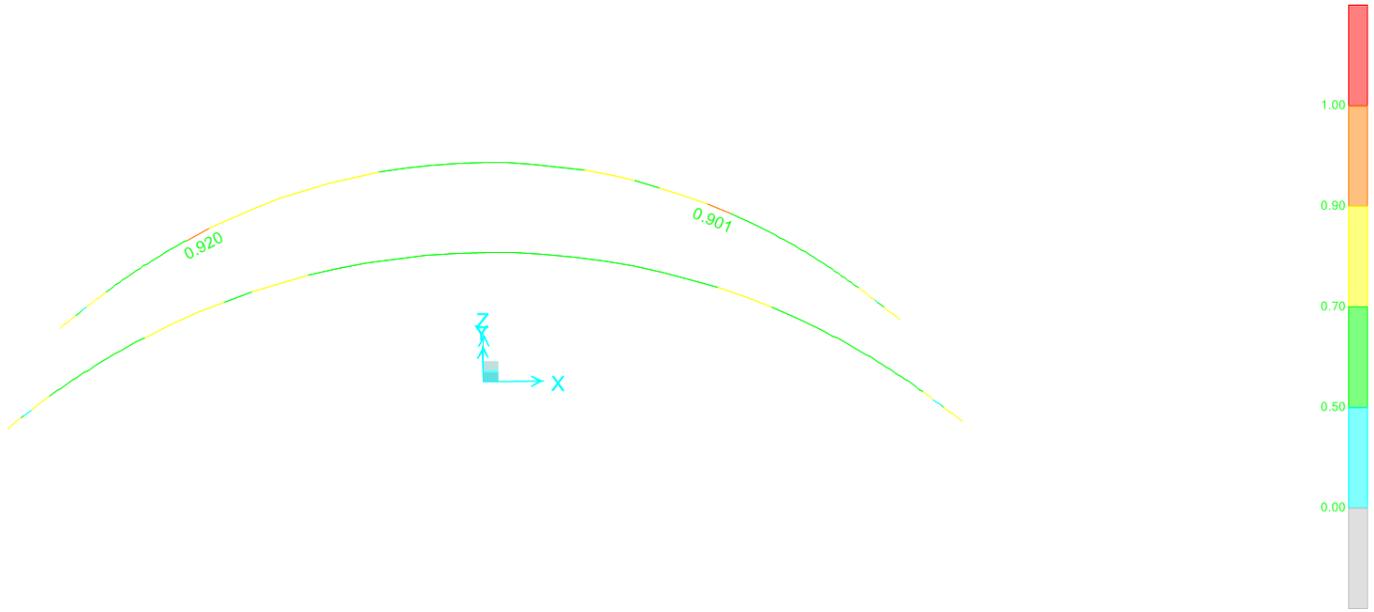
	Med Moment	Med, span Moment	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	12963.792	12963.792	38257.935	38257.935	30869.125	38257.935
Minor (z-z)	-98.651	-99.323	4515.582	4515.582	4515.582	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 4	Class 4	Class 1	0.814	0.135	-1.752

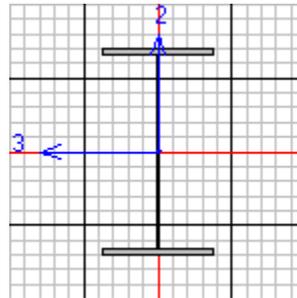
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	d	0.760	0.021	0.432	1.000	1.004	93837736.5

Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

9.3 Archi



Si riporta la verifica più gravosa dell'arco (sezione doppio T).



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

Frame : Arco2-9	X Mid: -23.000	Combo: SLU-TRAFF	Design Type: Brace
Length: 2.279	Y Mid: 6.660	Shape: ArcoCorr2	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.000	Z Mid: 10.406	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=0.209	eNy=0.000	eNz=0.000		
A=0.209	Iyy=0.125	iyy=0.774	Wel,yy=0.132	Weff,yy=0.132
It=2.114E-04	Izz=0.010	izz=0.219	Wel,zz=0.020	Weff,zz=0.020
Iw=0.008	Iyz=0.000	h=1.900	Wpl,yy=0.150	Av,z=0.120

E=210000000.0 fy=335000.000 fu=490000.000 Wpl,zz=0.031 Av,y=0.089

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.000	-20881.524	11351.375	2106.360	651.041	274.490	-62.465

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.62	0.920	= 0.407	+ 0.263	+ 0.249	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
	-20881.524	66680.952	66680.952	66680.952	73735.200	372969.567	372969.567	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0.490	12729965.23	0.074	0.472	1.000	66680.952
MajorB (y-y)	c 0.490	12729965.23	0.074	0.472	1.000	66680.952
Minor (z-z)	d 0.760	264714.902	0.514	0.752	0.769	51297.930
MinorB (z-z)	d 0.760	264714.902	0.514	0.752	0.769	51297.930
Torsional TF	d 0.760	372969.567	0.433	0.683	0.827	55115.257

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	11351.375	11351.375	47858.738	47858.738	41763.789	41912.052
Minor (z-z)	2106.360	2106.360	9926.369	9926.369	9926.369	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	c 0.490	0.440	0.656	0.876	1.026	259114.060

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.961	0.705	0.972	1.174

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	651.041	16393.991	0.040	OK	13.616
Minor (y)	274.490	22104.257	0.012	OK	13.616

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
	16393.991	1.000	0.492

BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

Axial	P Comp	P Tens
	-20881.524	N/C

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
88 di 125

Units : KN, m, C

Frame : Arco2-9 X Mid: -23.000 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Brace
Length: 2.279 Y Mid: 6.660 Shape: ArcoCorr2 Frame Type: DCI-MRF
Loc : 0.000 Z Mid: 10.406 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=0.209 eNy=0.000 eNz=0.000
A=0.209 Iyy=0.125 iyz=0.774 Wel,yy=0.132 Weff,yy=0.132
It=2.114E-04 Izz=0.010 izz=0.219 Wel,zz=0.020 Weff,zz=0.020
Iw=0.008 Iyz=0.000 h=1.900 Wpl,yy=0.150 Av,z=0.120
E=210000000.0 fy=335000.000 fu=490000.000 Wpl,zz=0.031 Av,y=0.089

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.000	-20881.524	11351.375	2106.360	651.041	274.490	-62.465

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.62	0.920	= 0.407	+ 0.263	+ 0.249	0.990	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1.000	1.980	5.833
Major Braced	1.000	1.980	5.833
Minor (z-z)	1.000	3.886	40.452
Minor Braced	1.000	3.886	40.452
LTB	1.000	3.886	40.452

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	-20881.524	66680.952	66680.952	66680.952	73735.200	372969.567	372969.567	1.000

	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0.490	12729965.23	0.074	0.472	1.000	66680.952
MajorB(y-y)	c	0.490	12729965.23	0.074	0.472	1.000	66680.952
Minor (z-z)	d	0.760	264714.902	0.514	0.752	0.769	51297.930
MinorB(z-z)	d	0.760	264714.902	0.514	0.752	0.769	51297.930
Torsional TF	d	0.760	372969.567	0.433	0.683	0.827	55115.257

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	11351.375	11351.375	47858.738	47858.738	41763.789	41912.052
Minor (z-z)	2106.360	2106.360	9926.369	9926.369	9926.369	

	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
Compactness	Class 2	Class 2	Class 2	0.838	0.850	-0.404

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

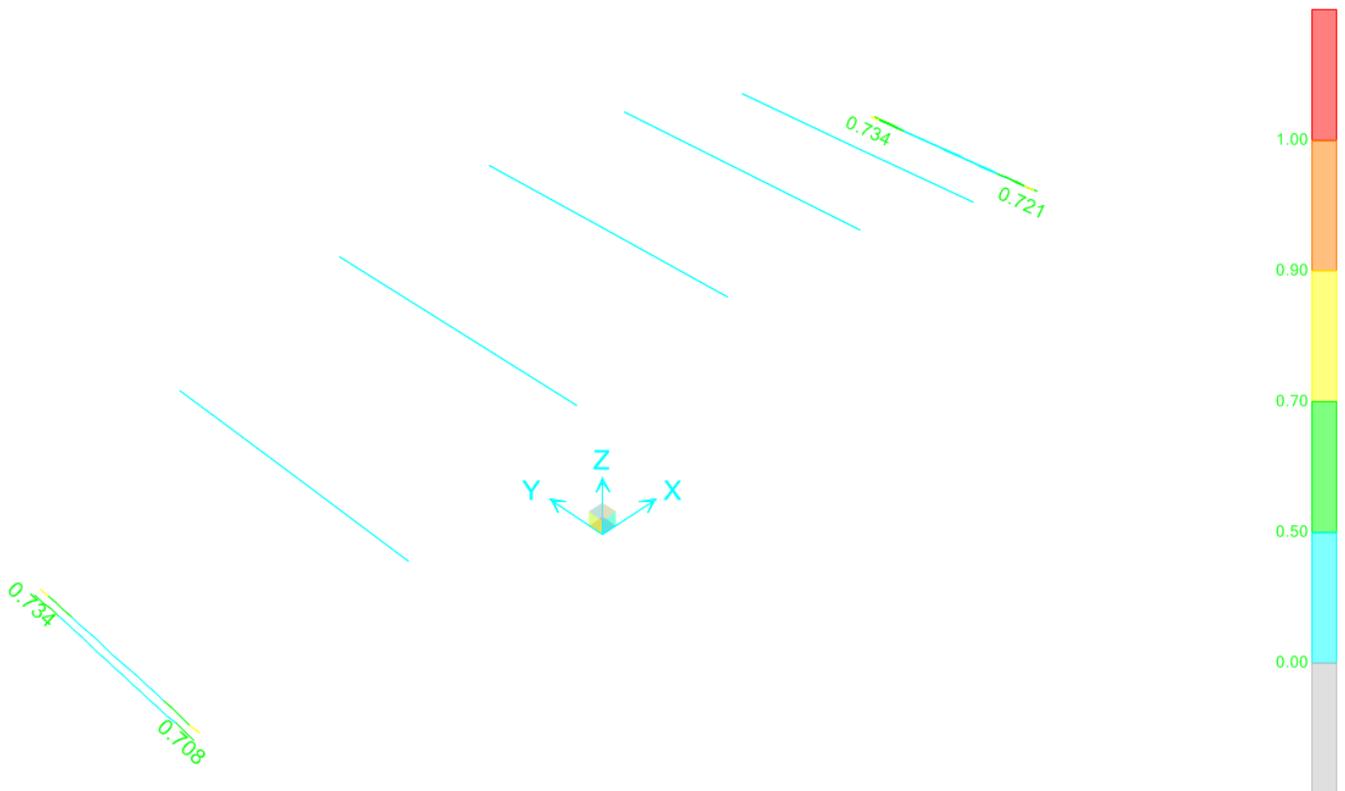
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

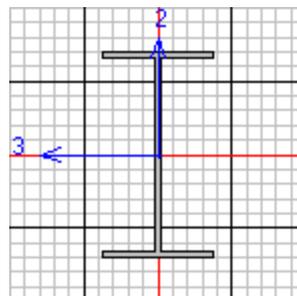
Pag.
89 di 125

LTB	Curve c	AlphaLT 0.490	LambdaBarLT 0.440	PhiLT 0.656	ChiLT 0.876	C1 1.026	Mcr 259114.060
Factors	Cmy 1.000	Cmz 1.000	CmLT 1.000	kyy 0.961	kzy 0.705	kzy 0.972	kzz 1.174

9.4 Trasversi arco



Si riporta la verifica più gravosa dell'elemento doppio T orizzontale (sezione primo trasverso arco)



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : 648	X Mid: -24.000	Combo: Sismica Y	Design Type: Beam
Length: 0.515	Y Mid: 4.637	Shape: TrasversoArco1	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.515	Z Mid: 9.860	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

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
91 di 125

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=0.105 eNy=0.000 eNz=0.000
A=0.105 Iyy=0.028 iyy=0.520 Wel,yy=0.044 Weff,yy=0.044
It=5.428E-05 Izz=0.002 izz=0.148 Wel,zz=0.007 Weff,zz=0.007
Iw=9.102E-04 Iyz=0.000 h=1.300 Wpl,yy=0.050 Av,z=0.056
E=210000000.0 fy=355000.000 fu=510000.000 Wpl,zz=0.010 Av,y=0.049

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.515	-3118.464	494.422	-952.380	9.934	773.275	-0.214

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3 (4)-6.62	0.734	= 0.198	+ 0.055	+ 0.481	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
	-3118.464	35432.381	35432.381	35432.381	38482.560	51463.022	51463.022	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0.340	330440.121	0.336	0.579	0.951	33693.453
MajorB (y-y)	b 0.340	330440.121	0.336	0.579	0.951	33693.453
Minor (z-z)	c 0.490	26788.443	1.178	1.434	0.444	15737.957
MinorB (z-z)	c 0.490	26788.443	1.178	1.434	0.444	15737.957
Torsional TF	c 0.490	51463.022	0.850	1.021	0.631	22346.015

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	494.422	503.456	14713.225	14713.225	14713.225	9054.818
Minor (z-z)	-952.380	-952.380	2215.174	2215.174	2215.174	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	c	0.490	0.875	1.048	0.615	1.007	20189.568

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	1.019	1.119	0.987	1.119

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	70.973	9525.725	0.007	OK	0.200
Minor (y)	773.275	10931.160	0.071	OK	0.200

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
	9525.725	1.000	0.434

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

Major (V2)	VMajor Left	VMajor Right
	79.486	85.272

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
92 di 125

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

Frame : 648 X Mid: -24.000 Combo: Sismica Y Design Type: Beam
Length: 0.515 Y Mid: 4.637 Shape: TrasversoArco1 Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.515 Z Mid: 9.860 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=0.105 eNy=0.000 eNz=0.000
A=0.105 Iyy=0.028 iyy=0.520 Wel, yy=0.044 Weff, yy=0.044
It=5.428E-05 Izz=0.002 izz=0.148 Wel, zz=0.007 Weff, zz=0.007
Iw=9.102E-04 Iyz=0.000 h=1.300 Wpl, yy=0.050 Av, z=0.056
E=2100000000.0 fy=355000.000 fu=510000.000 Wpl, zz=0.010 Av, y=0.049

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med, yy	Med, zz	Ved, z	Ved, y	Ted
0.515	-3118.464	494.422	-952.380	9.934	773.275	-0.214

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.62	0.734	= 0.198	+ 0.055	+ 0.481	0.990	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1.000	25.852	25.639
Major Braced	1.000	25.852	25.639
Minor (z-z)	1.000	25.852	90.046
Minor Braced	1.000	25.852	90.046
LTB	1.000	25.852	90.046

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc, Rd Capacity	Nt, Rd Capacity	Npl, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag
Axial	-3118.464	35432.381	35432.381	35432.381	38482.560	51463.022	51463.022	1.000

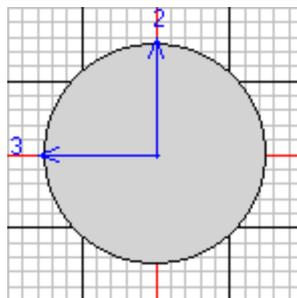
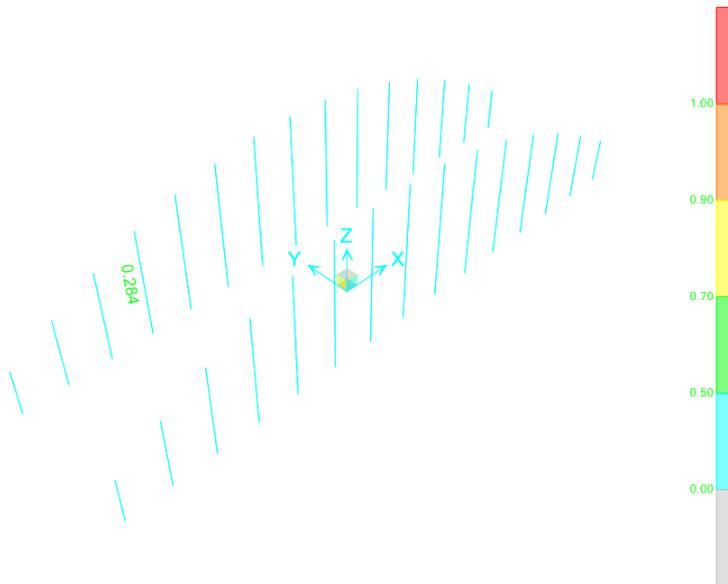
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd
Major (y-y)	b 0.340	330440.121	0.336	0.579	0.951	33693.453
MajorB(y-y)	b 0.340	330440.121	0.336	0.579	0.951	33693.453
Minor (z-z)	c 0.490	26788.443	1.178	1.434	0.444	15737.957
MinorB(z-z)	c 0.490	26788.443	1.178	1.434	0.444	15737.957
Torsional TF	c 0.490	51463.022	0.850	1.021	0.631	22346.015

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Moment	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	494.422	503.456	14713.225	14713.225	14713.225	9054.818
Minor (z-z)	-952.380	-952.380	2215.174	2215.174	2215.174	

Compactness	Section Class 3	Flange Class 3	Web Class 1	Epsilon 0.814	Alpha 0.590	Psi -0.832	
LTB	Curve c	AlphaLT 0.490	LambdaBarLT 0.875	PhiLT 1.048	ChiLT 0.615	C1 1.007	Mcr 20189.568
Factors	Cmy 1.000	Cmz 1.000	CmLT 1.000	kyy 1.019	kyz 1.119	kzy 0.987	kzz 1.119

9.5 Pendini



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

Frame : 402	X Mid: -16.000	Combo: SLU-TRAFF	Design Type: Column
Length: 10.960	Y Mid: 6.660	Shape: Pendino2	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 10.960	Z Mid: 6.880	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
 q=1.00
 An/Ag=1.00

 GammaM1=1.05
 Omega=1.00
 RLLF=1.000

 GammaM2=1.25
 GammaOV=1.13
 PLLF=0.750

D/C Lim=0.990

 Aeff=0.020
 A=0.020
 It=6.434E-05
 Iw=0.000
 E=210000000.0

 eNy=0.000
 Iyy=3.217E-05
 Izz=3.217E-05
 Iyz=0.000
 fy=335000.000

 eNz=0.000
 iyy=0.040
 izz=0.040
 h=0.160
 fu=490000.000

 Wel,yy=4.021E-04
 Wel,zz=4.021E-04
 Wpl,yy=6.827E-04
 Wpl,zz=6.827E-04

 Weff,yy=4.021E-04
 Weff,zz=4.021E-04
 Av,z=0.018
 Av,y=0.018

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
10.960	1822.581	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.119

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

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	1822.581	6414.833	6414.833

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	6414.833	7093.465	1623961.741	555.084	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0.490	555.084	3.483	7.372	0.072	462.556
MajorB (y-y)	c 0.490	555.084	3.483	7.372	0.072	462.556
Minor (z-z)	c 0.490	555.084	3.483	7.372	0.072	462.556
MinorB (z-z)	c 0.490	555.084	3.483	7.372	0.072	462.556
Torsional TF	c 0.490	555.084	3.483	7.372	0.072	462.556

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	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	d	0.760	0.367	0.631	0.874	1.000	1698.409

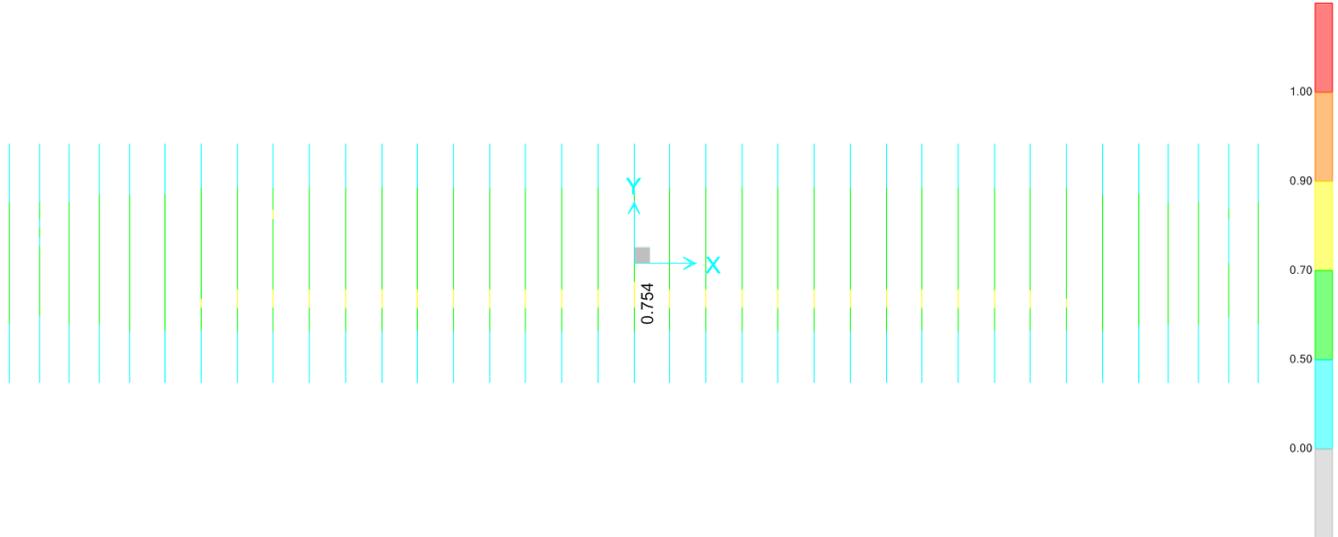
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	1.000	0.600	0.600	1.000

SHEAR DESIGN

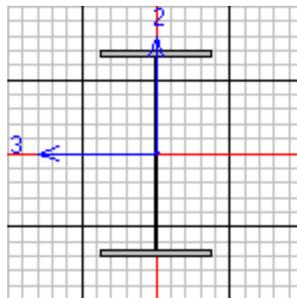
	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	0.000	3333.243	0.000	OK	0.119
Minor (y)	0.000	3333.243	0.000	OK	0.119

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
	3333.243	1.000	0.000

9.6 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-281 X Mid: 0.000
Length: 0.505 Y Mid: -2.243
Loc : 0.505 Z Mid: -0.530

Combo: SLU-TRAFF
Shape: Trasverso
Class: Class 3

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

Interaction=Method 2 (Annex B)

MultiResponse=Envelopes

P-Delta Done? No

GammaM0=1.05
An/Ag=1.00

GammaM1=1.05
RLLF=1.000

GammaM2=1.25
PLLF=0.750

D/C Lim=0.990

Aeff=0.056
A=0.056
It=1.307E-05
Iw=2.811E-04
E=210000000.0

eNy=0.000
Iyy=0.011
Izz=0.001
Iyz=0.000
fy=335000.000

eNz=0.000
iyy=0.444
izz=0.139
h=1.050
fu=490000.000

W_{el,yy}=0.021
W_{el,zz}=0.004
W_{pl,yy}=0.023
W_{pl,zz}=0.005

W_{eff,yy}=0.021
W_{eff,zz}=0.004
A_{v,z}=0.036
A_{v,y}=0.020

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med, yy	Med, zz	Ved, z	Ved, y	Ted
0.505	-129.172	4885.369	16.641	-1.786	36.698	-2.685

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.	0.754	= 0.007	+ 0.732	+ 0.014	0.990	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc, Rd Capacity	Nt, Rd Capacity	Np1, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd
Axial	-129.172	17802.857	17802.857	17802.857	19686.240	10570722.58	10570722.58	1.000	b	0.340	89263858.2	0.014	0.469	1.000	17802.857
									b	0.340	89263858.2	0.014	0.469	1.000	17802.857
									c	0.490	8782645.644	0.046	0.463	1.000	17802.857
									c	0.490	8782645.644	0.046	0.463	1.000	17802.857
									c	0.490	10570722.58	0.042	0.462	1.000	17802.857

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Moment	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
Major (y-y)	4885.369	4885.369	6674.759	6674.759	6674.759	6674.759	c	0.490	0.039	0.461	1.000	1.043	4673912.818
Minor (z-z)	16.641	16.641	1149.273	1149.273	1149.273	1149.273							
Factors	kyy 0.959	kyz 0.843	kzy 1.000	kzz 0.843									

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc, Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	1023.896	3647.202	0.281	OK	2.696
Minor (y)	36.698	6631.277	0.006	OK	2.696
Reduction	Vp1, Rd 3647.202	Eta 1.000	LambdabarW 0.684		

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor Left	VMajor Right
Major (V2)	1027.723	1023.896

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

Frame : TRINC-281 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: -0.530 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=335000.000 fu=490000.000 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	-129.172	4885.369	16.641	-1.786	36.698	-2.685

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.	0.754	= 0.007	+ 0.732	+ 0.014	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	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	-129.172	17802.857	17802.857	17802.857	19686.240	10570722.58	10570722.58	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0.340	89263858.2	0.014	0.469	1.000	17802.857
MajorB(y-y)	b 0.340	89263858.2	0.014	0.469	1.000	17802.857
Minor (z-z)	c 0.490	8782645.644	0.046	0.463	1.000	17802.857
MinorB(z-z)	c 0.490	8782645.644	0.046	0.463	1.000	17802.857
Torsional TF	c 0.490	10570722.58	0.042	0.462	1.000	17802.857

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	4885.369	4885.369	6674.759	6674.759	6674.759	6674.759
Minor (z-z)	16.641	16.641	1149.273	1149.273	1149.273	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 3	Class 3	Class 1	0.838	0.510	-0.986

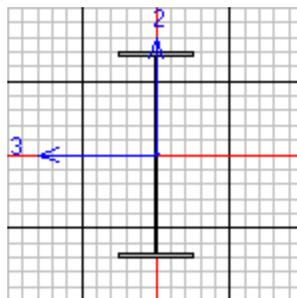
LTB	Curve c	AlphaLT 0.490	LambdaBarLT 0.039	PhiLT 0.461	ChiLT 1.000	C1 1.043	Mcr 4673912.818
Factors	Cmy 0.959	Cmz 0.843	CmLT 0.959	kyy 0.959	kyz 0.843	kzy 1.000	kzz 0.843

9.7 Longherine

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



Riassunto verifica elemento più sollecitato:



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

Frame : LONG3-36	X Mid: -24.200	Combo: SLU-TRAFF	Design Type: Beam
Length: 0.400	Y Mid: -1.485	Shape: Longherina2	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.400	Z Mid: -0.530	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

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
99 di 125

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	iyz=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	999.530	-29.217	-268.911	128.293	-2.754

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.62	0.481	= 0.000	+ 0.381	+ 0.100	0.990	OK

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)	999.530	1065.048	2982.023	2982.023	2982.023	2796.349
Minor (z-z)	-29.217	-29.217	292.608	292.608	292.608	
Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d 0.760	0.281	0.570	0.938	1.024	39681.671
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz		
	0.975	1.000	1.000	1.000		

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Vc, Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion
Major (z)	556.890	2562.550	0.217	OK	1.390
Minor (y)	128.293	2810.870	0.046	OK	1.390
Reduction	Vpl, Rd	Eta	LambdabarW		
	2734.742	1.000	0.886		

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor Left	VMajor Right
Major (V2)	548.036	556.890

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:
RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
100 di 125

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

Frame : LONG3-36 X Mid: -24.200 Combo: SLU-TRAFF Design Type: Beam
Length: 0.400 Y Mid: -1.485 Shape: Longherina2 Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.400 Z Mid: -0.530 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	999.530	-29.217	-268.911	128.293	-2.754

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.62	0.481	= 0.000	+ 0.381	+ 0.100	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	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

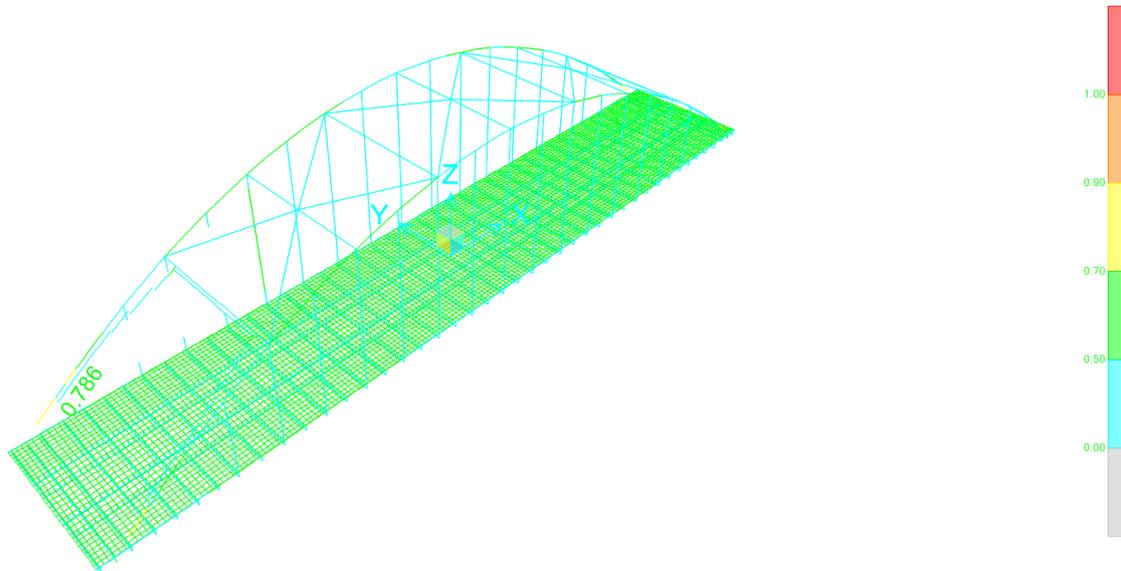
	Med Moment	Med, span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	999.530	1065.048	2982.023	2982.023	2982.023	2796.349
Minor (z-z)	-29.217	-29.217	292.608	292.608	292.608	

Section	Flange	Web	Epsilon	Alpha	Psi

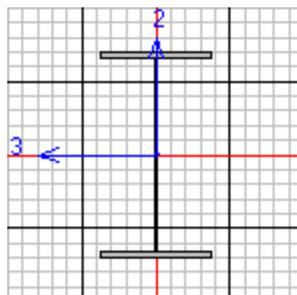
Compactness	Class 3	Class 3	Class 2	0.814	0.500	-1.000	
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0.760	0.281	0.570	0.938	1.024	39681.671
Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	0.975	1.000	1.000	0.975	1.000	1.000	1.000

10 ROTTURA DI 3 PENDINI

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



Si riporta la verifica più gravosa per l'arco:



Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
102 di 125

Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : ARC-64 X Mid: -33.478 Combo: SLU-TRAFF-ECC Design Type: Brace
Length: 0.426 Y Mid: 6.660 Shape: ArcoImpostel_IPE Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.000 Z Mid: 3.383 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=0.999

Aeff=0.191 eNy=0.000 eNz=0.000
A=0.191 Iyy=0.120 iyy=0.794 Wel,yy=0.127 Weff,yy=0.127
It=1.760E-04 Izz=0.010 izz=0.229 Wel,zz=0.020 Weff,zz=0.020
Iw=0.008 Iyz=0.000 h=1.900 Wpl,yy=0.142 Av,z=0.120
E=210000000.0 fy=335000.000 fu=490000.000 Wpl,zz=0.031 Av,y=0.071

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.000	-14597.231	14567.536	-1174.377	1514.014	-54.236	6.384

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.3.3(4)-6.61	0.786	= 0.239	+ 0.370	+ 0.177	0.999	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	-14597.231	61001.905	61001.905	61001.905	67455.360	142015837.5	142015837.5	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0.490	1722747.757	0.193	0.517	61001.905
MajorB(y-y)	c	0.490	1722747.757	0.193	0.517	61001.905
Minor (z-z)	d	0.760	114427201.2	0.024	0.433	61001.905
MinorB(z-z)	d	0.760	114427201.2	0.024	0.433	61001.905
Torsional TF	d	0.760	142015837.5	0.021	0.432	61001.905

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	14567.536	14567.536	40436.153	40436.153	37797.794	40436.153
Minor (z-z)	-1174.377	-1174.377	6387.010	6387.010	6387.010	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	c	0.490	0.020	0.456	1.000	1.024 107790798.0

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	1.028	0.961	1.000	0.961

SHEAR DESIGN

Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
103 di 125

Major (z)	2480.217	13115.193	0.189	OK	10.539
Minor (y)	297.656	22104.257	0.013	OK	10.539

	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
Reduction	13115.193	1.000	0.615

BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

	P	P
	Comp	Tens
Axial	-14597.231	N/C

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

Frame : ARC-64	X Mid: -33.478	Combo: SLU-TRAFF-ECC	Design Type: Brace
Length: 0.426	Y Mid: 6.660	Shape: ArcoImpostel_IPE	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.000	Z Mid: 3.383	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=0.999

Aeff=0.191	eNy=0.000	eNz=0.000		
A=0.191	Iyy=0.120	iyy=0.794	Wel,yy=0.127	Weff,yy=0.127
It=1.760E-04	Izz=0.010	izz=0.229	Wel,zz=0.020	Weff,zz=0.020
Iw=0.008	Iyz=0.000	h=1.900	Wpl,yy=0.142	Av,z=0.120
E=210000000.0	fy=335000.000	fu=490000.000	Wpl,zz=0.031	Av,y=0.071

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.000	-14597.231	14567.536	-1174.377	1514.014	-54.236	6.384

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing	Total	N	MMajor	MMinor	Ratio	Status
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check
6.3.3(4)-6.61	0.786	= 0.239	+ 0.370	+ 0.177	0.999	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1.000	28.266	15.167
Major Braced	1.000	28.266	15.167
Minor (z-z)	1.000	1.000	1.861
Minor Braced	1.000	1.000	1.861
LTB	1.000	1.000	1.861

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-14597.231	61001.905	61001.905

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	61001.905	67455.360	142015837.5	142015837.5	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
-------	-------	-----	-----------	-----	-----	-------

Major (y-y)	c	0.490	1722747.757	0.193	0.517	1.000	61001.905
MajorB(y-y)	c	0.490	1722747.757	0.193	0.517	1.000	61001.905
Minor (z-z)	d	0.760	114427201.2	0.024	0.433	1.000	61001.905
MinorB(z-z)	d	0.760	114427201.2	0.024	0.433	1.000	61001.905
Torsional TF	d	0.760	142015837.5	0.021	0.432	1.000	61001.905

MOMENT DESIGN

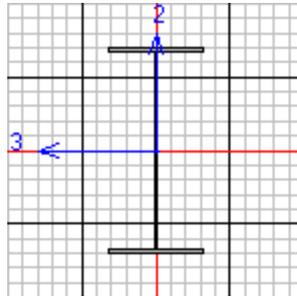
	Med Moment	Med, span Moment	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	14567.536	14567.536	40436.153	40436.153	37797.794	40436.153
Minor (z-z)	-1174.377	-1174.377	6387.010	6387.010	6387.010	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 3	Class 2	Class 3	0.838	0.806	-0.544

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	c	0.490	0.020	0.456	1.000	1.024	107790798.0

Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	1.000	0.958	0.976	1.028	0.961	1.000	0.961

Si riporta la verifica più gravosa per la trave:



Italian NTC 2008 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : Trave-2-36X Mid: -24.200 Combo: SLU-TRAFF-ECC Design Type: Beam
 Length: 0.400 Y Mid: 6.660 Shape: TraveCorr Frame Type: DCL-MRF
 Loc : 0.400 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=0.999

Aeff=0.165 eNy=0.000 eNz=0.000
 A=0.165 Iyy=0.125 iyy=0.871 Wel, yy=0.114 Weff, yy=0.113
 It=8.628E-05 Izz=0.007 izz=0.201 Wel, zz=0.013 Weff, zz=0.013
 Iw=0.008 Iyz=0.000 h=2.200 Wpl, yy=0.131 Av, z=0.080
 E=210000000.0 fy=355000.000 fu=510000.000 Wpl, zz=0.021 Av, y=0.085

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.

IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.

105 di 125

Location	Ned	Med, yy	Med, zz	Ved, z	Ved, y	Ted
0.400	16225.854	13227.073	-75.617	-1100.296	23.164	1.830

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0.654	= 0.291	+ 0.346	+ 0.017	0.999	OK

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned Force	Nc, Rd Capacity	Nt, Rd Capacity
	16225.854	55718.095	55718.095

Npl, Rd	Nu, Rd	Ncr, T	Ncr, TF	An/Ag
55718.095	60514.560	126209297.2	126209297.2	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb, Rd
Major (y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
MajorB (y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
Minor (z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
MinorB (z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
Torsional TF	c 0.490	126209297.2	0.022	0.457	1.000	55718.095

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Moment	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	13227.073	13227.073	38257.935	38257.935	36155.617	38257.935
Minor (z-z)	-75.617	-75.617	4515.582	4515.582	4515.582	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
	d	0.760	0.021	0.432	1.000	1.009	94232901.9

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)	1100.296	16552.899	0.066	OK	1.830
Minor (y)	23.164	15615.943	0.001	OK	1.830

Reduction	Vpl, Rd	Eta	LambdabarW
	16552.899	1.000	0.754

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

Major (V2)	VMajor Left	VMajor Right
	1106.350	1100.296

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

Frame : Trave-2-36X	Mid: -24.200	Combo: SLU-TRAFF-ECC	Design Type: Beam
Length: 0.400	Y Mid: 6.660	Shape: TraveCorr	Frame Type: DCL-MRF
Loc : 0.400	Z Mid: 0.000	Class: Class 4	Rolled : No

Interaction=Method 2 (Annex B)

MultiResponse=Envelopes

P-Delta Done? No

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
106 di 125

GammaM0=1.05 GammaM1=1.05 GammaM2=1.25 D/C Lim=0.999
An/Ag=1.00 RLLF=1.000 PLLF=0.750

Aeff=0.165 eNy=0.000 eNz=0.000
A=0.165 Iyy=0.125 iyy=0.871 Wel,yy=0.114 Weff,yy=0.113
It=8.628E-05 Izz=0.007 izz=0.201 Wel,zz=0.013 Weff,zz=0.013
Iw=0.008 Iyz=0.000 h=2.200 Wpl,yy=0.131 Av,z=0.080
E=210000000.0 fy=355000.000 fu=510000.000 Wpl,zz=0.021 Av,y=0.085

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0.400	16225.854	13227.073	-75.617	-1100.296	23.164	1.830

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
6.2.9.3(2)	0.654	= 0.291	+ 0.346	+ 0.017	0.999	OK

BASIC FACTORS

Buckling Mode	K Factor	L Factor	Lcr/i
Major (y-y)	1.000	5.000	2.296
Major Braced	1.000	5.000	2.296
Minor (z-z)	1.000	1.000	1.987
Minor Braced	1.000	1.000	1.987
LTB	1.000	1.000	1.987

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	16225.854	55718.095	55718.095	55718.095	60514.560	126209297.2	126209297.2	1.000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
MajorB(y-y)	b 0.340	64812334.0	0.030	0.472	1.000	55718.095
Minor (z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
MinorB(z-z)	c 0.490	86505503.4	0.026	0.458	1.000	55718.095
Torsional TF	c 0.490	126209297.2	0.022	0.457	1.000	55718.095

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	13227.073	13227.073	38257.935	38257.935	36155.617	38257.935
Minor (z-z)	-75.617	-75.617	4515.582	4515.582	4515.582	

Compactness	Section Class	Flange Class	Web Class	Epsilon	Alpha	Psi
	Class 4	Class 4	Class 1	0.814	0.231	-1.555

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d 0.760	0.021	0.432	1.000	1.009	94232901.9

Factors	Cmy	Cmz	CmLT	kyy	kyz	kzy	kzz
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Linea AV/AC VERONA – PADOVA

1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.
IN0D00DI2CLVI0007004B

Pag.
107 di 125

11 VERIFICHE SLE

11.1 Verifiche deformative

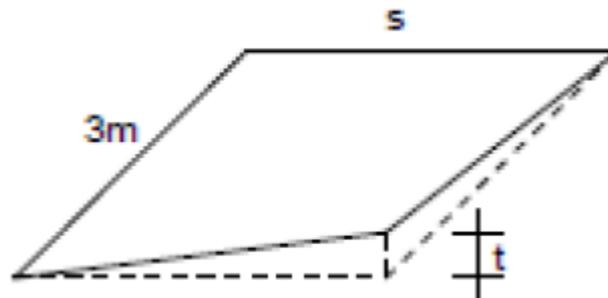
11.1.1 Accelerazioni verticali sull'impalcato

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 Φ_2 e del coefficiente α .

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 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:

$$t_{\max} = 0.168 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

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

$$t_{\max} = 0.2135 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 109 di 125

LM71 – binario 1:

$$t_{\max} = 0.161 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

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

$$t_{\max} = 0.223 \text{ mm} < 1.2 \text{ mm}$$

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 Φ_2 e α . 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:

$$\delta_h = 7.742 \text{ mm} \Rightarrow R = 90820 \text{ m} > 14000 \text{ m}$$

$$\theta_{\max} = 0.0004 \text{ rad} < 0.0015 \text{ rad}$$

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 (Φ_2 e α). 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 $L/600 = 75/600 = 125$ mm

La freccia massima ottenuta dal modello di calcolo è

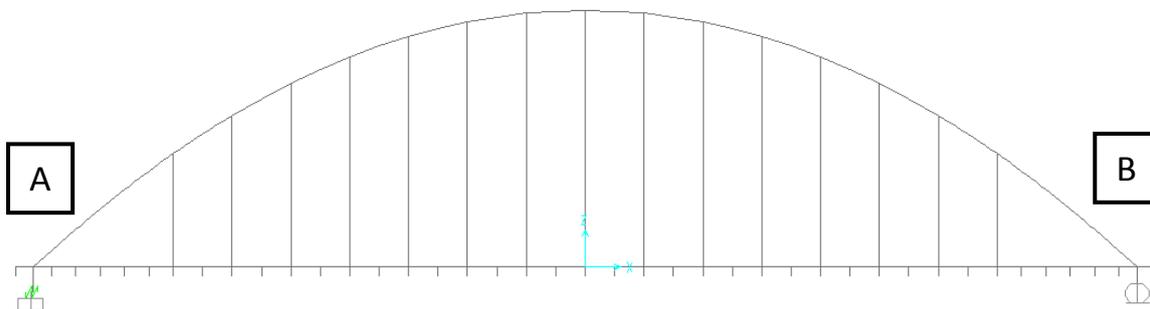
$$\delta_v = 43.28 \text{ mm} < 125 \text{ mm} = L / 600$$

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

$$\Phi_2 \quad \mathbf{1.06}$$

Distanza del piano ferro dal centro di rotazione dell'appoggio

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 111 di 125

H_{pf} 2066 mm

Nodo	θ	
	rad	
A	0.001931	< 8/H_{pf}
B	-0.002038	< 8/H_{pf}

Nodo	δ_h	
	mm	
A	3.99	< 8 mm
B	4.21	< 8 mm

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 (Φ_2 e α). 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 $L/1000 = 75/1000 = 75$ mm.

$$\delta_v = 26.28 \text{ mm} < 75 \text{ mm} = L/1000$$

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

$$R_{min} = V^2/0.48 = 14468 \text{ m}$$

Il raggio di curvatura conseguente alla freccia verticale δ_v è

$$R = 26760 \text{ m} > 10047 \text{ m} \text{ cui corrisponde una accelerazioni di } 0.180 \text{ m/s}^2 < 0.48.$$

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 112 di 125

12 VERIFICHE A FATICA

Le verifiche a fatica sono effettuate nel rispetto della specifica RFI, adottando il metodo dei coefficienti λ . 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:

$$\Phi_2 = 1.44 / (L_\Phi^{0.5} - 0.2) + 0.82 = 1.06 \quad \text{con } L_\Phi = 37.5 \text{ m (5.5 pag. 44)}$$

Coefficiente dinamico per le azioni trasversali:

$$\Phi_2 = 1.44 / (L_\Phi^{0.5} - 0.2) + 0.82 = 1.2 \quad \text{con } L_\Phi = 4 \times 4 = 16 \text{ m (5.7 pag. 44)}$$

Coefficiente λ_1 per le azioni longitudinali:

$$\lambda_1 = 0.67 \quad \text{con } L_\Phi = 75 \text{ m (5.7 pag. 44)}$$

Coefficiente λ_1 per le azioni trasversali:

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 113 di 125

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

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 λ_1 ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico Φ_2 , adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
Φ_2	1.06
λ_1	0.62

Effetto trasversale	
Φ_2	1.20
λ_1	0.833

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti λ_1 e Φ_2 .

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

Binario 1	Massimi			Minimi		
	N	199.90	kN	N	-0.36	kN
	M _{long}	1.73	kNm	M _{long}	-1.82	kNm
	M _{trasv}	0.95	kNm	M _{trasv}	-0.14	kNm
	σ _{+,max}	20.04	MPa	σ _{+,min}	-6.19	MPa
	σ _{-,max}	9.19	MPa	σ _{-,min}	5.24	MPa

Binario 2	Massimi			Minimi		
	N	101.98	kN	N	-0.51	kN
	M _{long}	1.37	kNm	M _{long}	-1.29	kNm
	M _{trasv}	1.37	kNm	M _{trasv}	-0.09	kNm
	σ _{+,max}	14.52	MPa	σ _{+,min}	-4.36	MPa
	σ _{-,max}	5.92	MPa	σ _{-,min}	3.76	MPa

Δσ ₇₁₋₁	26.23	MPa
Δσ ₇₁₋₁₊₂	45.10	MPa

I rimanenti coefficienti λ sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto λ₂₄ calcolato senza considerare λ₁, in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

λ ₂	1
λ ₃	1
λ ₄	0.825
λ ₂₄	0.825

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	21.65	MPa
--	--------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	0.87	≤ 1
--	-------------	------------

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA		
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 115 di 125	

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	57200	mm ²
Modulo Longitudinale	W _{long}	15600000	mm ³
Modulo Trasversale	W _{trasv}	333400	mm ³
Dettaglio	Δσ_c	71	Mpa
Coeff. Parz.	γ _{Mf}	1.35	
Δσ_{Lim} = k_s Δσ_c/γ_{Mf} =		46.76	MPa

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 λ₁ ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico Φ₂, adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
Φ ₂	1.06
λ ₁	0.62

Effetto trasversale	
Φ ₂	1.20
λ ₁	0.833

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti λ₁ e Φ₂. Per la forza assiale N ed il momento longitudinale M_{long} si adottano i coefficienti per gli effetti longitudinali, mentre per il momento trasversale M_{trasv} si considerano i coefficienti relativi agli effetti trasversali

	Massimi			Minimi		
Binario 1	N	164.00	kN	N	-3.38	kN
	M _{long}	1.39	kNm	M _{long}	-1.80	kNm
	M _{trasv}	1.44	kNm	M _{trasv}	-0.50	kNm
	σ _{+,max}	7.29	MPa	σ _{+,min}	-1.69	MPa
	σ _{-,max}	7.11	MPa	σ _{-,min}	-1.46	MPa
Binari 0 2	N	90.26	kN	N	-2.72	kN
	M _{long}	1.17	kNm	M _{long}	-1.21	kNm

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag.
	IN0D00DI2CLVI0007004B	116 di 125

	M_{trasv}	1.78	kNm
	$\sigma_{+,max}$	7.00	MPa
	$\sigma_{-,max}$	6.85	MPa

	M_{trasv}	-0.26	kNm
	$\sigma_{+,min}$	-0.91	MPa
	$\sigma_{-,min}$	-0.76	MPa

$\Delta\sigma_{71-1}$	8.98	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	16.89	MPa

I rimanenti coefficienti λ sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto λ_{24} calcolato senza considerare λ_1 , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

λ_2	1
λ_3	1
λ_4	0.821
λ_{24}	0.821

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	7.37	MPa
--	-------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	0.16	≤ 1
--	-------------	----------------------------

12.3 Trasverso

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

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_1 ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico Φ_2 , adottati per la verifica

Effetto trasversale	
Φ_2	1.62
λ_1	0.97

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti λ_1 e Φ_2 .

Binario 1	Massimi			Minimi		
	N	1224.84	kN	N	-18.70	kN
M_{long}	719.01	kNm	M_{long}	-0.66	kNm	
M_{trasv}	7.74	kNm	M_{trasv}	-7.98	kNm	
$\sigma_{+,max}$	58.17	MPa	$\sigma_{+,min}$	-3.52	MPa	
$\sigma_{-,max}$	-11.64	MPa	$\sigma_{-,min}$	-3.46	MPa	

Binario 2	Massimi			Minimi		
	N	547.27	kN	N	-9.38	kN
M_{long}	368.89	kNm	M_{long}	-0.33	kNm	
M_{trasv}	5.22	kNm	M_{trasv}	-4.97	kNm	
$\sigma_{+,max}$	29.01	MPa	$\sigma_{+,min}$	-2.15	MPa	
$\sigma_{-,max}$	-6.81	MPa	$\sigma_{-,min}$	-2.12	MPa	

$\Delta\sigma_{71-1}$	61.69	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	92.85	MPa

I rimanenti coefficienti λ sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto λ_{24} calcolato senza considerare λ_1 , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

λ_2	1
λ_3	1
λ_4	0.841
λ_{24}	0.841

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	51.85	MPa
--	--------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	0.65	≤ 1
--	-------------	----------------------------

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA		
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag.
	IN0D00DI2CLVI0007004B		118 di 125

12.4 Trave principale

Area	A	164800	mm ²
Modulo Longitudinale	W _{long}	113700000	mm ³
Modulo Trasversale	W _{trasv}	13400000	mm ³
Dettaglio	$\Delta\sigma_c$	63	Mpa
Coeff. Parz.	γ_{Mf}	1.35	
$\Delta\sigma_{Lim} = k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf} =$		37.49	MPa

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_1 ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico Φ_2 , adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
Φ_2	1.06
λ_1	0.62

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti λ_1 e Φ_2 .

	Massimi			Minimi		
Binario 1	N	667.28	kN	N	-8.68	kN
	M _{long}	2292.25	kNm	M _{long}	-1833.08	kNm
	M _{trasv}	3.42	kNm	M _{trasv}	-6.94	kNm
	$\sigma_{+,max}$	24.46	MPa	$\sigma_{+,min}$	-16.69	MPa
	$\sigma_{-,max}$	-15.86	MPa	$\sigma_{-,min}$	15.55	MPa
Binario 2	N	572.54	kN	N	-8.86	kN
	M _{long}	1661.90	kNm	M _{long}	-1368.34	kNm
	M _{trasv}	2.12	kNm	M _{trasv}	-3.91	kNm
	$\sigma_{+,max}$	18.25	MPa	$\sigma_{+,min}$	-12.38	MPa
	$\sigma_{-,max}$	-10.98	MPa	$\sigma_{-,min}$	11.69	MPa

$\Delta\sigma_{71-1}$	41.16	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	71.79	MPa

I rimanenti coefficienti λ sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto λ_{24} calcolato senza considerare λ_1 , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

λ_2	1
λ_3	1
λ_4	0.824
λ_{24}	0.824

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	33.93	MPa
--	--------------	------------

$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	0.91	≤ 1
--	-------------	----------------------------

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA		
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO		
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 78M.		
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	IN0D00DI2CLVI0007004B	Pag. 120 di 125

12.5 Arco

Area	A	209000	mm ²
Modulo Longitudinale	W _{long}	131700000	mm ³
Modulo Trasversale	W _{trasm}	20000000	mm ³
Dettaglio	Δσ_c	63	Mpa
Coeff. Parz.	γ _{Mf}	1.35	
Δσ_{Lim} = k_s Δσ_c/γ_{Mf} =		37.49	MPa

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 λ₁ ed il corrispondente coefficiente di incremento dinamico Φ₂, adottati per la verifica

Effetto longitudinale	
Φ ₂	1.06
λ ₁	0.62

Le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo sono incrementate dei coefficienti λ₁ e Φ₂. Per la forza assiale N ed il momento longitudinale M_{long} si adottano i coefficienti per gli effetti longitudinali, mentre per il momento trasversale M_{trasm} si considerano i coefficienti relativi agli effetti trasversali

	Massimi			Minimi		
Binario 1	N	6.23	kN	N	-1993.43	kN
	M _{long}	1811.65	kNm	M _{long}	-1556.10	kNm
	M _{trasm}	138.29	kNm	M _{trasm}	-0.44	kNm
	σ _{+,max}	20.70	MPa	σ _{+,min}	-21.38	MPa
	σ _{-,max}	-6.81	MPa	σ _{-,min}	2.26	MPa
Binario 2	N	3.58	kN	N	-1026.86	kN
	M _{long}	1389.45	kNm	M _{long}	-1141.43	kNm
	M _{trasm}	122.57	kNm	M _{trasm}	-0.11	kNm
	σ _{+,max}	16.70	MPa	σ _{+,min}	-13.59	MPa
	σ _{-,max}	-4.40	MPa	σ _{-,min}	3.75	MPa

$\Delta\sigma_{71-1}$	42.08	MPa
$\Delta\sigma_{71-1+2}$	72.36	MPa

I rimanenti coefficienti λ sono riportati nella tabella seguente, insieme al loro prodotto λ_{24} calcolato senza considerare λ_1 , in quanto già inserito nelle sollecitazioni.

λ_2	1
λ_3	1
λ_4	0.825
λ_{24}	0.825

$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda_{24} \Delta\sigma_{71-1} =$	34.73	MPa
--	--------------	------------

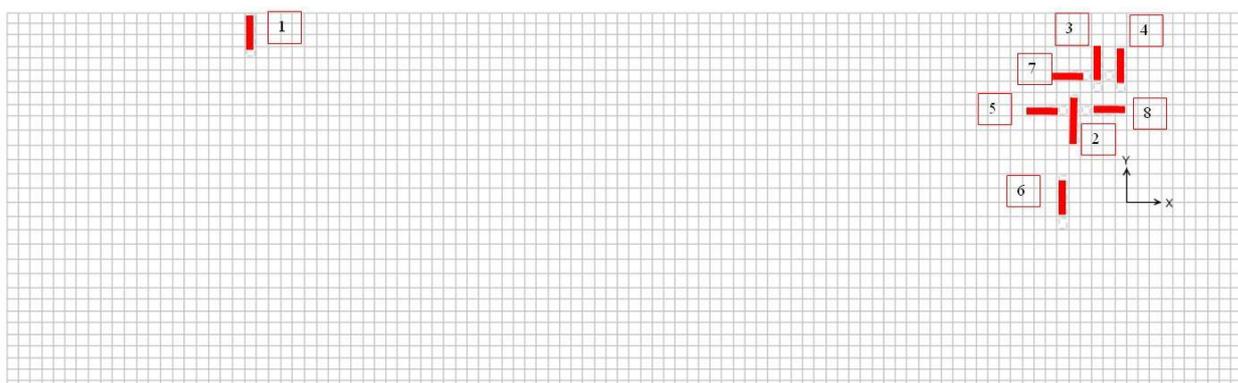
$\Delta\sigma_{Ed} / \Delta\sigma_{Lim}$	0.93	≤ 1
--	-------------	----------------------------

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 ²
s	30 mm	W	150000 mm ³

Tensione limite 338.10 MPa

Gruppo	Sezione	F11	M11	F22	M22
-	-	kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m
Piastra2-1	1	1467.95	1.58	48.60	2.39
Piastra2-2	2	843.53	-0.07	-260.98	0.96
Piastra2-3	3	1072.36	18.73	-250.04	14.01
Piastra2-4	4	1128.30	-3.69	-320.16	1.49

Piastra2-5	5	835.04	0.06	-172.87	-1.21
Piastra2-6	6	940.14	-1.92	-666.85	1.55
Piastra2-7	7	1041.20	13.45	-265.59	12.84
Piastra2-8	8	925.11	0.44	-347.97	-1.44

Minimi

Gruppo	Sezione	F11	M11	F22	M22
-	-	kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m
Piastra2-1	1	936.44	1.31	-118.60	2.10
Piastra2-2	2	420.15	-4.27	-606.02	-2.52
Piastra2-3	3	629.57	4.25	-492.24	1.44
Piastra2-4	4	665.61	-20.82	-618.23	-6.54
Piastra2-5	5	417.85	-2.02	-499.02	-5.20
Piastra2-6	6	539.97	-15.31	-1175.49	-4.76
Piastra2-7	7	608.13	-2.95	-530.73	-0.65
Piastra2-8	8	477.15	-1.73	-659.68	-6.58

Sezione 1

	F11, M11	
	+	-
σ_{\max}	59.49	38.37
σ_{\min}	39.98	22.45

	F22, M22	
σ_{\max}	17.56	-14.32
σ_{\min}	10.07	-17.97

Sezione 2

	F11, M11	
	+	-
σ_{\max}	27.67	28.57
σ_{\min}	-14.49	42.50

	F22, M22	
σ_{\max}	-2.31	-15.09
σ_{\min}	-37.01	-3.39

Sezione 3

		F11, M11		F22, M22	
		+	-		
σ_{\max}		160.59	-89.10	85.04	-101.71
σ_{\min}		49.29	-7.32	-6.78	-26.04

Sezione 4

		F11, M11		F22, M22	
		+	-		
σ_{\max}		13.00	62.22	-0.71	-20.63
σ_{\min}		-116.60	160.97	-64.19	22.97

Sezione 5

		F11, M11		F22, M22	
		+	-		
σ_{\max}		28.24	27.43	-13.83	2.31
σ_{\min}		0.44	27.41	-51.31	18.05

Sezione 6

		F11, M11		F22, M22	
		+	-		
σ_{\max}		18.53	44.15	-11.90	-32.56
σ_{\min}		-84.08	120.08	-70.90	-7.46

Sezione 7

		F11, M11		F22, M22	
		+	-		
σ_{\max}		124.40	-54.99	76.75	-94.46
σ_{\min}		0.60	39.94	-22.00	-13.38

Sezione 8

		F11, M11		F22, M22	
		+	-		
σ_{\max}		33.75	27.92	-21.18	-2.02
σ_{\min}		4.35	27.46	-65.85	21.87