

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DEI RESPONSABILI INTEGRATORI
DEI PRESTATARI SPECIALISTICI
DOTT. ING. ALBERTO MIAZZON
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

11 - OPERE CIVILI

A - PONTE SUL FIUME ISARCO

ELABORATI GENERALI

Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		<input type="text" value="-"/>

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

I B O U 1 B E Z Z C L V I O 0 0 0 0 1 2 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	L.Massignani	15/01/2022	L.Rampin	17/01/2022	D.Buttafoco Dolomiti	19/01/2022	IL PROGETTISTA A.Miazzon 29/01/2022

File: IB0U1BEZZCLVI0000012A.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	1 di 111

SOMMARIO

1. PREMESSA	5
2. SIMBOLOGIA	6
2.1 DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
2.1.1 Calcestruzzo	6
2.1.2 Acciaio	6
2.2 DEFINIZIONE DELL'EFFETTO TERMICO	6
2.3 DEFINIZIONE DEI CARICHI E SOVRACCARICHI	6
2.4 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	7
2.4.1 Unità di misura adottate	7
2.4.2 Sezione in acciaio	7
2.4.3 Sezione in calcestruzzo.....	7
2.5 CARATTERISTICHE GEOMETRICO STATICO INERZIALI	7
2.5.1 Sezione resistente principale	7
2.5.2 Anima trave principale	8
2.6 PARAMETRI DELLA SOLLECITAZIONE	9
2.7 BULLONATURE E PIOLI	9
2.8 VERIFICHE	9
3. ELENCO DISEGNI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	10
4. DESCRIZIONE DELL'OPERA	12
5. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	13
6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	14
6.1 ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA.....	14
6.2 CALCESTRUZZO PER LA SOLETTA.....	14
6.3 ACCIAIO PER OPERE IN C.A.....	15
6.4 LASTRE PREDALLE.....	15
6.5 BULLONI	16
6.6 PIOLI CONNETTORI.....	17
6.7 SALDATURE.....	17
7. METODO DI VERIFICA	18

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	2 di 111

7.1	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	18
7.2	COEFFICIENTI DI SICUREZZA.....	18
8.	ANALISI DEI CARICHI	19
8.1	PESI PROPRI (G ₁).....	19
8.2	PERMANENTI PORTATI (G ₂).....	19
8.3	CARICHI VIAGGIANTI (Q ₁).....	20
8.4	EFFETTI DINAMICI.....	21
8.5	FRENATURA E AVVIAMENTO (Q ₃)	23
8.6	SERPEGGIO (Q ₄).....	23
8.7	RITIRO E VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO (E ₂).....	23
8.8	VENTO (Q ₅).....	24
8.9	EFFETTI AERODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI FERROVIARI.....	26
8.10	CARICO SUI MARCIAPIEDI (Q ₆).....	27
8.11	VARIAZIONI TERMICHE (Q ₇)	27
8.11.1	Uniforme	27
8.11.2	Non Uniforme.....	28
8.12	AZIONE SISMICA (E).....	28
8.13	DERAGLIAMENTO (Q ₁₀)	30
9.	COMBINAZIONI	31
10.	IMPALCATO – EFFETTI GLOBALI.....	37
10.1	MODELLO DI CALCOLO.....	37
10.2	ASSEGNAZIONE DEI CARICHI	40
10.2.1	Pesi Propri (G ₁)	40
10.2.2	Permanententi portati (G ₂).....	40
10.2.3	Carichi Viaggianti (Q ₁).....	42
10.2.4	Frenatura e avviamento dei treni (Q ₃)	43
10.2.5	Serpeggio (Q ₄)	44
10.2.6	Ritiro del calcestruzzo (E ₂).....	44
10.2.7	Vento (Q ₅).....	45
10.2.8	Carichi sui marciapiedi (Q ₆)	46
10.2.9	Variazioni termiche	46

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	3 di 111

10.2.10	Azioni sismiche (E).....	47
10.2.11	Deragliamento.....	48
10.3	FREQUENZE E MODI DI VIBRARE DELLA STRUTTURA	49
10.4	VERIFICA DELLE TRAVI PRINCIPALI	50
10.4.1	Sezioni	50
10.4.2	Parametri di sollecitazione.....	52
10.4.3	Calcolo delle tensioni	53
10.4.4	Verifica di stabilità dei pannelli d'anima	56
10.5	VERIFICA DELLE LONGHERINE	58
10.5.1	Sezione	58
10.5.2	Parametri di sollecitazione	58
10.5.3	Calcolo delle tensioni	59
10.5.4	Verifica del giunto bullonato.....	59
10.6	VERIFICA DEI TRAVERSI	62
10.6.1	Sezione	62
10.6.2	Parametri di sollecitazione	62
10.6.3	Calcolo delle tensioni	63
10.6.4	Verifica del giunto bullonato.....	64
10.7	VERIFICA DEI DIAGONALI DI CONTROVENTO.....	66
10.8	VERIFICHE DI RESISTENZA A FATICA.....	68
10.8.1	Trave Principale.....	69
10.8.2	Traversi.....	75
10.9	VERIFICHE DI DEFORMABILITA' DELL'IMPALCATO.....	81
10.9.1	Stato limite di esercizio per la sicurezza del traffico ferroviario.....	81
10.9.2	Stato limite per il comfort dei passeggeri	82
10.9.3	Inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato.....	82
10.10	CONTROFRECCIA DI COSTRUZIONE.....	83
10.11	REAZIONI	84
10.12	ESCURSIONIE LONGITUDINALE, GIUNTI E VARCHI.....	85
10.13	RITEGNI SISMICI	87
10.13.1	Ritegno sismico Longitudinale	89

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	4 di 111

10.13.2	Ritegno Sismico Trasversale	91
10.14	VERIFICA DELLA SOLETTA	94
11.	ANALISI DINAMICA	95
11.1	DEFINIZIONE DEI CARICHI VIAGGIANTI	95
11.2	VALIDAZIONE DEL MODELLO	99
11.3	RISULTATI DELL'ANALISI DINAMICA.....	102
11.3.1	Treni Reali tipo A – F	103
11.3.2	Treni HSLM-A.....	105
11.3.3	Considerazioni finali e verifica delle prescrizioni del Manuale RFI	107

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 5 di 111

1. PREMESSA

Il presente documento contiene le verifiche strutturali del ponte ad arco in carpenteria metallica facente parte della tratta "Fortezza – Ponte Gardena" ed evidenziato in Fig. 1.

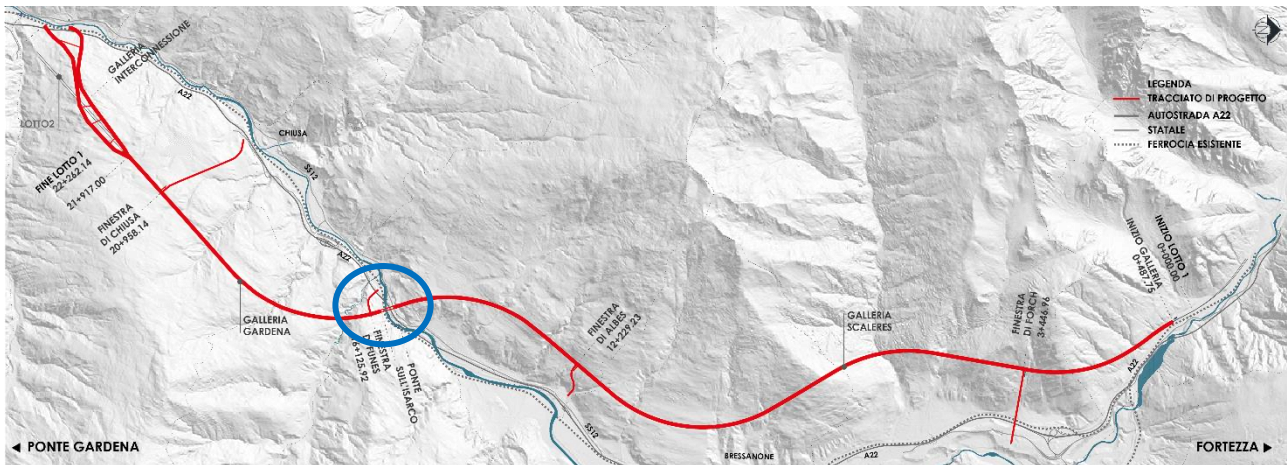


Fig. 1 – Tratta ferroviaria "Fortezza – Ponte Gardena"

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite (S.L.) in accordo con le disposizioni vigenti in Italia e con riferimento alla classificazione sismica del territorio nazionale, secondo il Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 6 di 111

2. SIMBOLOGIA

2.1 DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

2.1.1 Calcestruzzo

t_0	l'età del conglomerato a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro	[giorni]
A_c	l'area della sezione del conglomerato	[cm ²]
u	il perimetro della sezione di conglomerato a contatto con l'atmosfera	[cm]
$\epsilon_{r,\infty}$	contrazione finale del conglomerato dovuta al ritiro	
ϵ_r	valore di calcolo per la contrazione del conglomerato dovuta al ritiro	
E_c	modulo elastico del calcestruzzo per carichi di breve durata	[N/mm ²]
E^*_c	modulo elastico del calcestruzzo per carichi di lunga durata	[N/mm ²]
Φ_∞	coefficiente finale di viscosità	
n_0	coefficiente di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo per carichi di breve durata	
f_{ck}	resistenza caratteristica del calcestruzzo	[N/mm ²]

2.1.2 Acciaio

E_s	modulo elastico dell'acciaio	[N/mm ²]
-------	------------------------------	----------------------

2.2 DEFINIZIONE DELL'EFFETTO TERMICO

$\epsilon_{\Delta T}$	variazione di lunghezza unitaria per effetto di una variazione termica	
ΔT	variazione termica	[°C]
α	coefficiente di dilatazione termica	[1/°C]

2.3 DEFINIZIONE DEI CARICHI E SOVRACCARICHI

G_1	peso proprio delle strutture
G_2	carichi permanenti portati
Q_1	carichi ferroviari
Q_3	azioni longitudinali di avviamento/frenatura
Q_4	azione di serpeggio
E_2	ritiro del calcestruzzo
Q_5	azione da vento
Q_6	azione da folla sui marciapiedi
E_x	azione da sisma longitudinale
E_y	azione da sisma trasversale
E_z	azione da sisma verticale
Q_{10}	deragliamenti

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	7 di 111

2.4 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

2.4.1 Unità di misura adottate

Lunghezze	metri	[m]
Massa	chilogrammi massa	[kg]
Forze	Newton	[N]
Tempo	secondi	[s]
Frequenza	Hertz	[Hz]

2.4.2 Sezione in acciaio

$b_{p.sup.}$	larghezza piattabanda superiore della trave in acciaio	[mm]
$t_{p.sup.}$	spessore piattabanda superiore della trave in acciaio	[mm]
$b_{p.irr.sup.}$	larghezza del piatto di raddoppio per la piattabanda superiore della trave in acciaio	[mm]
$t_{p.irr.}$	spessore del piatto di raddoppio per la piattabanda superiore della trave in acciaio	[mm]
h_w	altezza dell'anima	[mm]
t_w	spessore dell'anima	[mm]
$b_{p.irr.inf}$	larghezza del piatto di raddoppio per la piattabanda inferiore della trave in acciaio	[mm]
$s_{p.irr.inf}$	spessore del piatto di raddoppio per la piattabanda inferiore della trave in acciaio	[mm]
$b_{p.inf.}$	larghezza piattabanda inferiore della trave in acciaio	[mm]
$t_{p.inf.}$	spessore piattabanda inferiore della trave in acciaio	[mm]
$b_{assi\ travi}$	interasse delle travi	[mm]

2.4.3 Sezione in calcestruzzo

b_{ef1}	larghezza efficace della soletta in calcestruzzo sullo sbalzo	[cm]
b_{ef2}	larghezza efficace della soletta in calcestruzzo tra le due travi	[cm]
b_c	larghezza d'ingombro dei connettori sulla piattabanda superiore	[cm]
$B_{collab.}$	larghezza collaborante della soletta in calcestruzzo	[cm]
s_{getto}	spessore del getto di calcestruzzo eseguito sopra alle predalles	[cm]

2.5 CARATTERISTICHE GEOMETRICO STATICO INERZIALI

2.5.1 Sezione resistente principale

Y_g	coordinata del baricentro valutata dal bordo inferiore della trave in acciaio	[mm]
J_x	momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse X	[cm ⁴]
J_y	momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse Y	[cm ⁴]
$W_x\ cls\ sup$	modulo di resistenza rispetto all'asse X valutato in corrispondenza del bordo superiore della sezione di calcestruzzo	[cm ³]

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	8 di 111

Wx arm sup	modulo di resistenza rispetto all'asse X valutato in corrispondenza delle armature superiori	[cm ³]
Wx arm inf	modulo di resistenza rispetto all'asse X valutato in corrispondenza delle armature inferiori	[cm ³]
Wx acc	modulo di resistenza rispetto all'asse X valutato in corrispondenza del bordo del bordo superiore della sezione di acciaio	[cm ³]
Wx an sup	modulo di resistenza rispetto all'asse X valutato in corrispondenza dell'anima al lembo superiore	[cm ³]
Wx an inf	modulo di resistenza rispetto all'asse X valutato in corrispondenza dell'anima al lembo inferiore	[cm ³]
Wx acc inf	modulo di resistenza rispetto all'asse X valutato in corrispondenza del bordo inferiore della sezione di acciaio	[cm ³]
Wy cls	modulo di resistenza rispetto all'asse Y valutato in corrispondenza del lembo esterno del calcestruzzo	[cm ³]
Wy supE	modulo di resistenza rispetto all'asse Y valutato in corrispondenza del lembo esterno della piattabanda superiore	[cm ³]
Wy supI	modulo di resistenza rispetto all'asse Y valutato in corrispondenza del lembo interno della piattabanda superiore	[cm ³]
Wy an	modulo di resistenza rispetto all'asse Y valutato in corrispondenza dell'anima di acciaio	[cm ³]
Wy infE	modulo di resistenza rispetto all'asse Y valutato in corrispondenza del lembo esterno della piattabanda inferiore	[cm ³]
Wy inf I	modulo di resistenza rispetto all'asse Y valutato in corrispondenza del lembo interno della piattabanda inferiore	[cm ³]
S sol	momento statico valutato sul baricentro della soletta di calcestruzzo	[cm ³]
S pioli	momento statico valutato all'attacco dei pioli sulla piattabanda superiore	[cm ³]
S an sup	momento statico valutato all'estremo superiore dell'anima	[cm ³]
S an inf	momento statico valutato all'estremo inferiore dell'anima	[cm ³]
Sx max	momento statico valutato sul baricentro della sezione	[cm ³]
J tors	momento d'inerzia torsionale della sezione in esame	[cm ⁴]
2.5.2 Anima trave principale		
I	momento d'inerzia dell'irrigiditore rispetto alla sezione d'attacco con l'anima	[cm ⁴]
hw	altezza dell'anima fra le piattabande	[mm]
tw	spessore dell'anima	[mm]

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	9 di 111

σ_1	tensione normale al lembo compresso della trave	[N/mm ²]
σ_2	tensione normale al lembo teso della trave	[N/mm ²]
τ	tensione tangenziale	[N/mm ²]
α	rapporto tra a e hw	
Ψ	rapporto tra σ_2 e σ_1	
δ	rapporto tra A_L e il prodotto di hw per tw	
W	rapporto tra σ_1 e τ	
$\sigma_{cr, id}$	tensione critica ideale valutata in funzione della geometria del pannello, del suo stato tensionale e del materiale usato	[N/mm ²]
σ_{id}	tensione ideale valutata secondo il metodo di Von Mises	[N/mm ²]

2.6 PARAMETRI DELLA SOLLECITAZIONE

N	sforzo normale	[kN]
V22	sforzo taglio in direzione 2	[kN]
V33	sforzo taglio in direzione 3	[kN]
M22	Momento flettente attorno all'asse 2	[kNm]
M33	Momento flettente attorno all'asse 3	[kNm]
T	Momento torcente	[kNm]

2.7 BULLONATURE E PIOLI

s	spessore della piastra	[mm]
Φ	diametro del bullone	[mm]
n°sez	numero di bulloni	
a	interasse tra i bulloni	[mm]
τ_B	tensione massima del bullone	[N/mm ²]
dp	diametro dei pioli	[mm]
hp'	altezza efficace dei pioli	[mm]

2.8 VERIFICHE

Δ	tasso di utilizzo del materiale = Sollecitante / Resistente
----------	---

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 10 di 111

3. ELENCO DISEGNI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I disegni di progetto sono i seguenti:

IB0U1BEZZBZVI0007001A	Carpenteria metallica - Appoggi, giunti e ritegni antisismici B.P. - tav. 1
IB0U1BEZZBZVI0007003A	Carpenteria metallica - Appoggi, giunti e ritegni antisismici B.D. - tav. 1
IB0U1BEZZTTVI0000001A	TABELLA MATERIALI
IB0U1BEZZPZVI0109001A	Carpenteria metallica B.P. - Pianta impalcato, prospetto e sezione trasversale
IB0U1BEZZBBVI0109001A	Carpenteria metallica B.P. - campate con arco da P1 a P3
IB0U1BEZZBBVI0109003A	Carpenteria metallica B.P. - arco (84,38m)
IB0U1BEZZBBVI0109004A	Carpenteria metallica B.P. - arco (83,62m)
IB0U1BEZZBBVI0109005A	Carpenteria metallica B.P. - campata da Sp1 a P1
IB0U1BEZZBBVI0109006A	Carpenteria metallica B.P. - campata da P1 a P2
IB0U1BEZZBBVI0109007A	Carpenteria metallica B.P. - campata da P2 a P3
IB0U1BEZZBBVI0109008A	Carpenteria metallica B.P. - campata da P3 a Sp2
IB0U1BEZZBZVI0109001A	Carpenteria metallica B.P. - traversi e longherine
IB0U1BEZZBZVI0109002A	Carpenteria metallica B.P. - saldature
IB0U1BEZZBZVI0109003A	Carpenteria metallica B.P. - nodi controvento inferiore
IB0U1BEZZBZVI0109004A	Carpenteria metallica - sezioni trasversali arco X-X e W-W
IB0U1BEZZBZVI0109005A	Carpenteria metallica - sezione trasversale arco K-K
IB0U1BEZZBZVI0109006A	Carpenteria metallica - dettagli di saldatura arco
IB0U1BEZZBZVI0109007A	Carpenteria metallica - cerniera arco
IB0U1BEZZBCVI010A001A	Vasca in c.a. - carpenteria e dettagli
IB0U1BEZZPZVI0209001A	Carpenteria metallica B.D. - Pianta impalcato, prospetto e sezione trasversale
IB0U1BEZZBBVI0209001A	Carpenteria metallica B.D. - campate con arco da P2 a P4
IB0U1BEZZBBVI0209003A	Carpenteria metallica B.D. - arco (84,38m)
IB0U1BEZZBBVI0209004A	Carpenteria metallica B.D. - arco (83,62m)
IB0U1BEZZBBVI0209005A	Carpenteria metallica B.D. - campata da Sp1 a P1
IB0U1BEZZBBVI0209006A	Carpenteria metallica B.D. - campata da P1 a P2
IB0U1BEZZBBVI0209007A	Carpenteria metallica B.D. - campata da P2 a P3
IB0U1BEZZBBVI0209008A	Carpenteria metallica B.D. - campata da P3 a P4
IB0U1BEZZBBVI0209009A	Carpenteria metallica B.D. - campata da P4 a Sp2
IB0U1BEZZBZVI0209001A	Carpenteria metallica B.D. - traversi e longherine
IB0U1BEZZBZVI0209002A	Carpenteria metallica B.D. - saldature
IB0U1BEZZBZVI0209003A	Carpenteria metallica B.D. - nodi controvento inferiore
IB0U1BEZZBZVI0209004A	Carpenteria metallica - sezioni trasversali arco X-X e W-W
IB0U1BEZZBZVI0209005A	Carpenteria metallica - sezione trasversale arco K-K
IB0U1BEZZBZVI0209006A	Carpenteria metallica - dettagli di saldatura arco
IB0U1BEZZBZVI0209007A	Carpenteria metallica - cerniera arco
IB0U1BEZZBCVI020A019A	Vasca in c.a. - carpenteria e dettagli

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 11 di 111

Le relazioni di calcolo sono le seguenti:

IB0U1BEZZCLVI0000010A	Relazione di calcolo carpenteria metallica - PONTE AD ARCO
IB0U1BEZZCLVI0000011A	Relazione di calcolo carpenteria metallica – IMPALCATO L=28,16m

APPALTAZIONE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 12 di 111

4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera oggetto del presente documento è il ponte in semplice appoggio di luce pari a 23,04m che costituisce un tratto del viadotto ferroviario di scavalco del fiume Isarco nella tratta "Fortezza – Ponte Gardena". Le immagini seguenti illustrano la posizione del ponte in esame all'interno del viadotto, rispettivamente per il binario pari e dispari della linea.

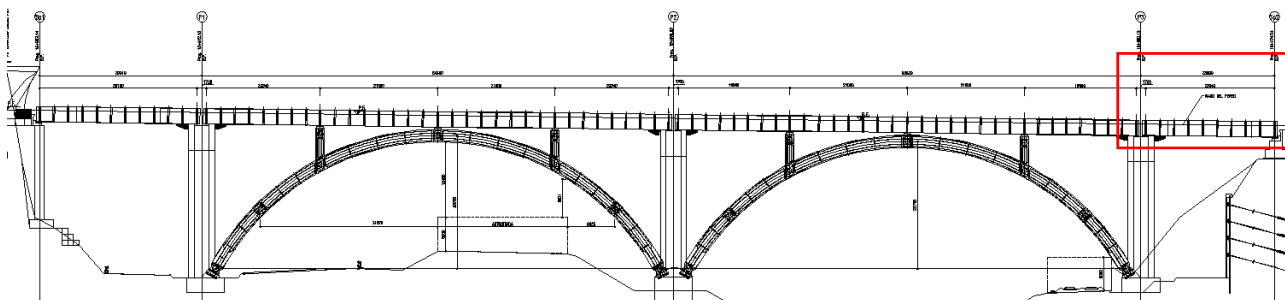


Fig. 2 – Vista di assieme della struttura – binario pari

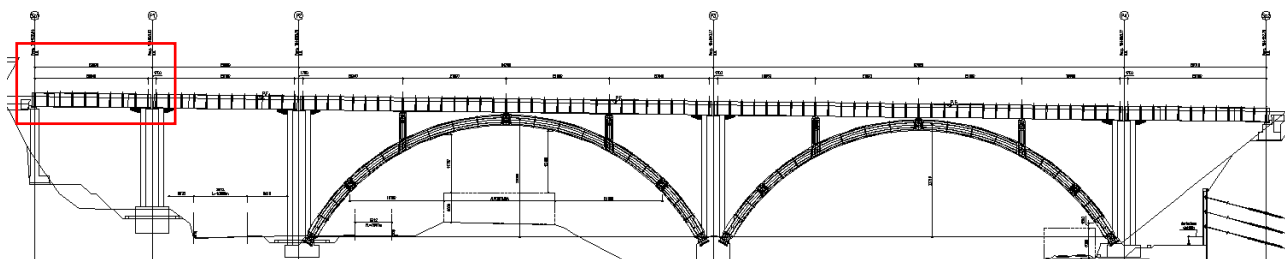


Fig. 3 – Vista di assieme della struttura – binario dispari

La struttura è costituita da:

- due travi di impalcato a doppio T di altezza complessiva pari a 2,8 m;
- due longherine (profili laminati HEB600) posizionate in asse alle rotaie del binario;
- traversi di impalcato in composizione saldata a doppio T simmetrici, con gousset alle due estremità per creare un collegamento rigido con le travi principali;
- controventi inferiori con sezione a T saldata posizionati nel piano inferiore dell'impalcato e collegati alle piattabanda inferiore delle travi principali e dei traversi tramite coprigiunti bullonati;
- una vasca in c.a. contenente l'armamento vincolata al graticcio in carpenteria metallica tramite pioli Nelson saldati sulle longherine e sui traversi.

L'impalcato appoggia sulla pila in c.a ed in spalla tramite dispositivi di appoggio a calotta sferica.

La massima velocità di progetto per la tratta in esame è di 250 km/h.

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	13 di 111

5. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto è redatto secondo la seguente normativa:

- Legge 05/01/1971 n°1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. del 17 Gennaio 2018: Nuove norme tecniche per le costruzioni e relative circolari
- CNR-UNI 10011: "Costruzioni di acciaio – Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione"
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 E del 31/12/2020: Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture;
- RFI DTC SI PS SP IFS 001 E del 31/12/2020: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 14 di 111

6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riassumono di seguito le caratteristiche principali dei materiali. Si rimanda alla tavola di progetto specifica per ulteriori dettagli.

6.1 ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA

Le strutture principali del ponte sono realizzate in acciaio S355 secondo EN10025, dove:

- $t \leq 16$ mm $f_{yk} = 355$ MPa e $f_u = 510$ MPa
- $16 < t \leq 40$ mm $f_{yk} = 345$ MPa e $f_u = 510$ MPa
- $40 < t \leq 63$ mm $f_{yk} = 335$ MPa e $f_u = 510$ MPa

Modulo elastico $E_s = 210\,000$ MPa.

6.2 CALCESTRUZZO PER LA SOLETTA

$R_{ck} = 40$ N/mm² (C32/40) resistenza caratteristica (frattile 5%) dei cubetti a 28 gg

Rapporto acqua cemento ≤ 0.50

Consistenza plastica = Classe di Slump S4

Diametro massimo dell'inerte per le strutture ≤ 20 mm

Si impiegano additivi anti-ritiro che consentono di ottenere un valore di contrazione per ritiro pari a:

$\epsilon_{rit} = -1,34 \times 10^{-4}$ (calcolo deformazione da ritiro al §8.7).

Dalla tabella 4.1.IV del DM2018 si ricava l'apertura ammissibile delle fessure per le condizioni ambientali molto aggressive e in presenza di armatura poco sensibile.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

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

w_1, w_2, w_3 sono definiti al § 4.1.2.2.4, il valore w_k è definito al § 4.1.2.2.4.5.

Fig. 4 – Stato Limite di Fessurazione – tabella 4.1.IV del DM2018

Nel caso di armatura poco sensibile, lo stato limite di apertura delle fessure, nelle combinazioni frequente e quasi permanente, è definito da $w_1 = 0,2$ mm.

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	15 di 111

6.3 ACCIAIO PER OPERE IN C.A

Acciaio per barre d'armatura: B450C controllato in stabilimento (barre ad aderenza migliorata)

Acciaio per reti elettrosaldate: B450C (secondo le prescrizioni del D.M. 14-1-2008)

- $5 < \varnothing < 30$ mm. acciaio per cemento armato B450C.
- $1,15 \leq (f_t/f_y)_k < 1,35$
- $f_{yk} = 450$ N/mm² tensione caratteristica di snervamento
- $f_{tk} = 540$ N/mm² tensione caratteristica di rottura

Per la piegatura delle barre si fa riferimento al DM 17-1-2018

6.4 LASTRE PREDALLE

$R_{ck} = 40$ N/mm² (C32/40) resistenza caratteristica (frattile 5%) dei cubetti a 28 gg

tipo cemento CEM I-V

Rapporto acqua cemento ≤ 0.50

Consistenza plastica = Classe di Slump S4

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 16 di 111

6.5 BULLONI

Strutture principali:

- viti 10.9 secondo UNI EN ISO 898-1 UNI EN 14399-4
- dadi 10 secondo UNI EN 20898-2:1994 UNI EN 14399-4

Strutture secondarie :

- Viti classe 8.8 UNI EN ISO 898-1, UNI EN 14399-4
- Dadi classe 8 UNI EN 20898-2, UNI EN 14399-4

Gioco foro-bullone:

- STRUTTURE SECONDARIE: 1 mm (compresa tolleranza della vite)
- STRUTTURE PRINCIPALI: bulloni a taglio con accoppiamento di precisione, con gioco foro-bullone, comprensivo delle rispettive tolleranze, non superiore a 0,3 mm per $\varnothing \leq 20$ mm e non superiore a 0,5 mm per $\varnothing > 20$ mm, essendo \varnothing il diametro del bullone.

I giunti bullonati sono calcolati per resistere a taglio, considerando la resistenza dei bulloni cl. 8.8 sebbene da progetto siano previsti bulloni cl.10.9.

La resistenza a taglio di un bullone M27 è calcolata come da D.M.2018, ossia:

$$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{tb} \cdot A / \gamma_{M2} = 0,6 \times 800 \times 572 / 1,25 / 1000 = 220 \text{ kN}$$

Tale valore risulta inferiore alla resistenza dei bulloni M27 di classe 10.9 ridotta del 15%, come prescritto nel "Manuale di progettazione delle opere civili – parte II – sezione 2 – ponti e strutture "(Fig. 5). Infatti la resistenza a taglio di un bullone M27 cl.10.9 calcolata secondo D.M.2018 risulta:

$$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{tb} \cdot A / \gamma_{M2} = 0,6 \times 1000 \times 572 / 1,25 / 1000 = 275 \text{ kN}$$

Riducendo tale valore del 15% si ottiene una resistenza a taglio pari a 234 kN, ossia maggiore della resistenza considerata in fase di progetto.

2.5.2.3.6.2 Giunzioni con bulloni a taglio

Per quanto riguarda il calcolo delle unioni bullonate a taglio vale quanto riportato al paragrafo 4.2.8 del DM 17.01.2018 con una riduzione del 15% dei limiti di resistenza indicati nel detto paragrafo.

Per la verifica a fatica dei bulloni si farà riferimento alla relativa curva SN riportata nella EN 1993.

Sono ammessi bulloni con diametro 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22 - 24 - 27 mm.

Nel progetto del giunto si dovrà tener conto, nella definizione degli interassi e della distanza dai margini dei pezzi da unire, della possibilità di alesatura a diametro superiore.

Per strutture con armamento diretto o travate di luce > 60 m si dovrà tener adeguatamente conto del gioco foro-bullone nella valutazione della deformata della travata, il relativo contributo dovrà essere considerato nella contro-freccia di montaggio.

Fig. 5 – Estratto dal "Manuale di progettazione delle opere civili"

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 17 di 111

La resistenza a trazione dei bulloni si calcola come:

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_u \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,9 \times 800 \times 459 / 1,25 / 1000 = 264 \text{ kN}$$

La tabella seguente riassume le resistenze a taglio considerate per le verifiche nel presente documento.

Bulloni	Classe	f_u [N/mm ²]	$f_{u,verifica}$ [N/mm ²]	A [mm ²]	A_s [mm ²]	$0,15 F_{V,Rd,NTC}$ [kN]	$F_{V,Rd,ver}$ [kN]	$F_{t,Rd,ver}$ [kN]
M24	10.9	1000	800	452	353	184	174	203
M27	10.9	1000	800	572	459	234	220	264

6.6 PIOLI CONNETTORI

Si utilizzano pioli tipo Nelson in acciaio S235JR+ C450 (St37/3k) con:

- snervamento $f_v \geq 350 \text{ N/mm}^2$
- rottura $f_u \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Norma di riferimento: EN 13918

6.7 SALDATURE

Le saldature realizzate mediante cordoni d'angolo che uniscono due lamiere di spessori S_1 e S_2 ($S_1 \geq S_2$) devono avere il lato Z soddisfacente la limitazione seguente (eccetto dove diversamente indicato nei disegni):

$$0,7 \times S_2 = Z$$

Per ulteriori indicazioni sulle saldature si rimanda alle tavole di dettaglio.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 18 di 111

7. METODO DI VERIFICA

7.1 VERIFICA DELLE SEZIONI

L'analisi globale della struttura è effettuata con il metodo elastico, pertanto si valutano gli effetti delle azioni nell'ipotesi che il legame tensione-deformazione del materiale sia infinitamente lineare.

La struttura viene verificata secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limite, confrontando le tensioni calcolate con la tensione limite come definito nel D.M.2018 § 4.2.4.1.2, ossia:

<p>4.2.4.1.2 Resistenza delle membrature</p> <p>Per la verifica delle travi la resistenza di progetto da considerare dipende dalla classificazione delle sezioni.</p> <p>La verifica in campo elastico è ammessa per tutti i tipi di sezione, con l'avvertenza di tener conto degli effetti di instabilità locale per le sezioni di classe 4.</p> <p>Le verifiche in campo elastico, per gli stati di sforzo piani tipici delle travi, si eseguono con riferimento al seguente criterio:</p> $\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed}\sigma_{x,Ed} + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk}/\gamma_{M0})^2 \quad [4.2.4]$ <p>dove:</p> <p>$\sigma_{x,Ed}$ è il valore di progetto della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione parallela all'asse della membratura;</p> <p>$\sigma_{z,Ed}$ è il valore di progetto della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione ortogonale all'asse della membratura;</p> <p>τ_{Ed} è il valore di progetto della tensione tangenziale nel punto in esame, agente nel piano della sezione della membratura.</p>

Fig. 6 – Estratto dal D.M. 2018 - §4.2.4.1.2 – Resistenza delle membrature

Il D.M.2018 al §4.2.4.1.2 "Resistenza delle membrature" ammette la verifica in campo elastico per tutti i tipi di sezione, "con l'avvertenza di tener conto degli effetti di instabilità locale per le sezioni di classe 4.Per le sezioni di classe 4, in alternativa alle formule impiegate nel seguito, si possono impiegare altri procedimenti di comprovata validità".

Pertanto la verifica delle aste principali della struttura viene effettuata calcolando le tensioni nella sezione lorda, verificando che tale valore sia inferiore alla tensione limite (come in Fig. 6) e verificando la stabilità degli elementi compressi tramite il procedimento descritto nelle istruzioni CNR 10011.

Per le verifiche delle aste di controvento, si confronta la resistenza delle membrature definita da normativa $R_d = R_k/\gamma_M$ con la forza sollecitante; il rapporto tra i due valori deve essere inferiore ad 1,0 ($F_{ED} / R_d < 1,0$).

7.2 COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Per le verifiche di resistenza delle membrature si adottano i fattori parziali γ_{M0} , γ_{M1} e γ_{M2} indicati in tab.4.2.VII della normativa italiana (Fig. 7).

Tab. 4.2.VII - Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

Fig. 7 – Coefficienti parziali di sicurezza - D.M. 2018 - §4.2.4.1.1

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	19 di 111

8. ANALISI DEI CARICHI

8.1 PESI PROPRI (G_1)

Si considerano i seguenti pesi propri per unità di volume:

- Calcestruzzo: 25 kN/mc
- Acciaio da carpenteria metallica: 78,5 kN/mc

Il peso totale dell'impalcato in carpenteria metallica risulta pari a 1.386 kN.

Il peso totale della soletta in calcestruzzo risulta pari a $2,58\text{mq} \times 25 \text{ kN/mc} \times 24\text{m} = 1.550 \text{ kN}$.

8.2 PERMANENTI PORTATI (G_2)

Si considerano i seguenti carichi permanenti portati:

- Armamento e impermeabilizzazione: $25 \text{ kN/m}^3 \times 1,7 \text{ m}^2 = 42,5 \text{ kN/m}$
- Rotaie e attacchi: $1,5 \text{ kN/m}$
- Massetto sp. 5cm: $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,05\text{m} \times (1,5+0,35)\text{m} = 2,3 \text{ kN/m}$
- Passerella emergenza (grigliato 25x76 - 40x3+2UPN180): $0,4 \text{ kN/m}^2 \times 2,1 + 2 \times 0,22 \text{ kN/m} = 1,3 \text{ kN/m}$
- Passerella di servizio (grigliato 25x76 - 40x3): $0,4 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \text{ kN/m} = 0,4 \text{ kN/m}$
- Impianti (tubazioni acqua, cavi, canaline, ...): 6 kN/m
- Barriere antirumore (4 kN/m^2 , $h = 5\text{m}$): $2 \times (4 \times 5) = 2 \times 20 \text{ kN/m}$
- Parapetto: $2 \times 0,3 \text{ kN/m}$

Il carico permanente totale risulta pari a 95 kN/m.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 20 di 111

8.3 CARICHI VIAGGIANTI (Q₁)

Le azioni variabili verticali sono definite in accordo con il Manuale di progettazione RFI e con il D.M. 2018. In particolare si considerano tre modelli di carico distinti: il primo rappresentativo del traffico normale (modello di carico LM71) e gli altri rappresentativi del traffico pesante (modello di carico SW/0 e SW/2).

Treno di carico LM71

Il treno di carico LM/71 è costituito da 4 forze concentrate di 250 kN disposte ad interasse 1,6m e da due distese di carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,8 m di distanza dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata Fig. 8.

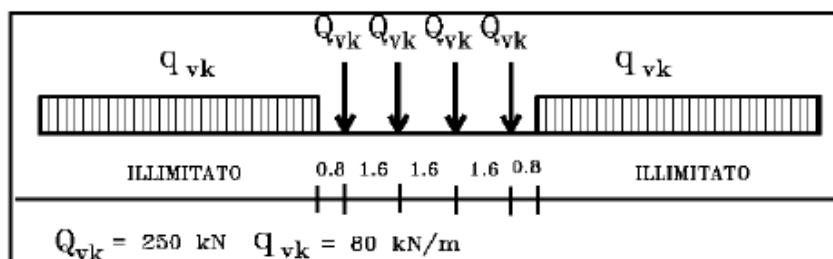


Fig. 8 – Modello di carico LM71 – estratto dal D.M.2018

Il coefficiente di adattamento per questo modello di carico è $\alpha = 1,1$.

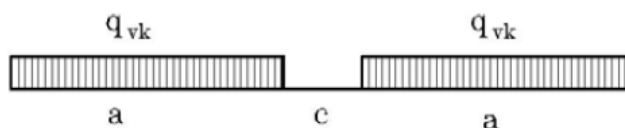
Per questo modello di carico è prevista da normativa un'eccentricità accidentale del carico rispetto all'asse del binario dipendente dallo scartamento, per tenere conto dello spostamento dei carico:

$$ea = s / 18 = 1435 / 18 = +/- 80 \text{ mm}$$

Treno di carico SW/2

Il modello di carico SW/2 schematizza gli effetti prodotti dal traffico ferroviario pesante ed è costituito da due distese di carico distribuito di 150 kN/m lunghe 25m come rappresentato in Fig. 9 .

Il coefficiente di adattamento per questo modello di carico è $\alpha = 1,0$.



Tipo di Carico	q _{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Fig. 9 – Modello di carico SW/2 – estratto dal D.M.2018

Il coefficiente di adattamento per questo modello di carico è $\alpha = 1,1$.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 21 di 111

8.4 EFFETTI DINAMICI

Secondo le indicazioni riportate nelle NTC2018 e nel manuale RFI, le sollecitazioni e le deformazioni determinate sulle strutture del ponte all'applicazione statica dei treni di carico devono essere incrementate per tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli. Le regole generali di progetto stabiliscono che debba essere eseguita un'analisi statica con i modelli di carico LM71 ed SW2 moltiplicati per il coefficiente di incremento dinamico Φ , calcolato per ciascun elemento della struttura, in funzione della lunghezza caratteristica. Per le linee con normale standard manutentivo, il coefficiente dinamico risulta:

	L [m]	L_ϕ [m]	Φ [-]	β [-]	$\Phi \times \beta$ [-]
Travi Principali	23,04	23,04	1,20	1,1	1,32
Longherine	2,56	7,68	1,56	1,0	1,56
Traversi intermedi	7,60	15,2	1,31	1,1	1,45
Traversi di estremità	7,60	3,60	2,00	1,0	2,00
Appoggi	23,04	23,04	1,20	1,1	1,32

(b) per linee con normale standard manutentivo:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi - 0,20}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00 \quad (5.2.7)$$

Dove L_ϕ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri, così come definita in Tab. 2.5.1.4.2.5.3-1.

Salvo diverse indicazioni di FERROVIE, per le linee diverse dall'A.V./A.C. si utilizza Φ_3 .

Per i ponti metallici con armamento diretto occorrerà considerare un ulteriore coefficiente di adattamento dell'incremento dinamico β (inserito per tener conto del maggiore incremento dinamico dovuto al particolare tipo di armamento), variabile esclusivamente in ragione della lunghezza caratteristica L_ϕ dell'elemento, dato da:

- $\beta = 1,00$ per $L_\phi \leq 8$ m ed $L_\phi > 90$ m;
- $\beta = 1,10$ per 8 m $< L_\phi \leq 90$ m.

Fig. 10 – Estratto dal Manuale di Progettazione RFI

Inoltre, per la struttura in esame, è richiesta un'analisi dinamica, come si evince dal diagramma riportato in Fig. 11. Infatti:

- La velocità massima dei convogli ferroviari è maggiore di 200 km/h;
- La struttura, pur essendo "semplice" (può essere modellata come trave lineare in semplice appoggio) ha una luce inferiore a 40m.

Per l'analisi dinamica si rimanda al § 10.14.

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 22 di 111

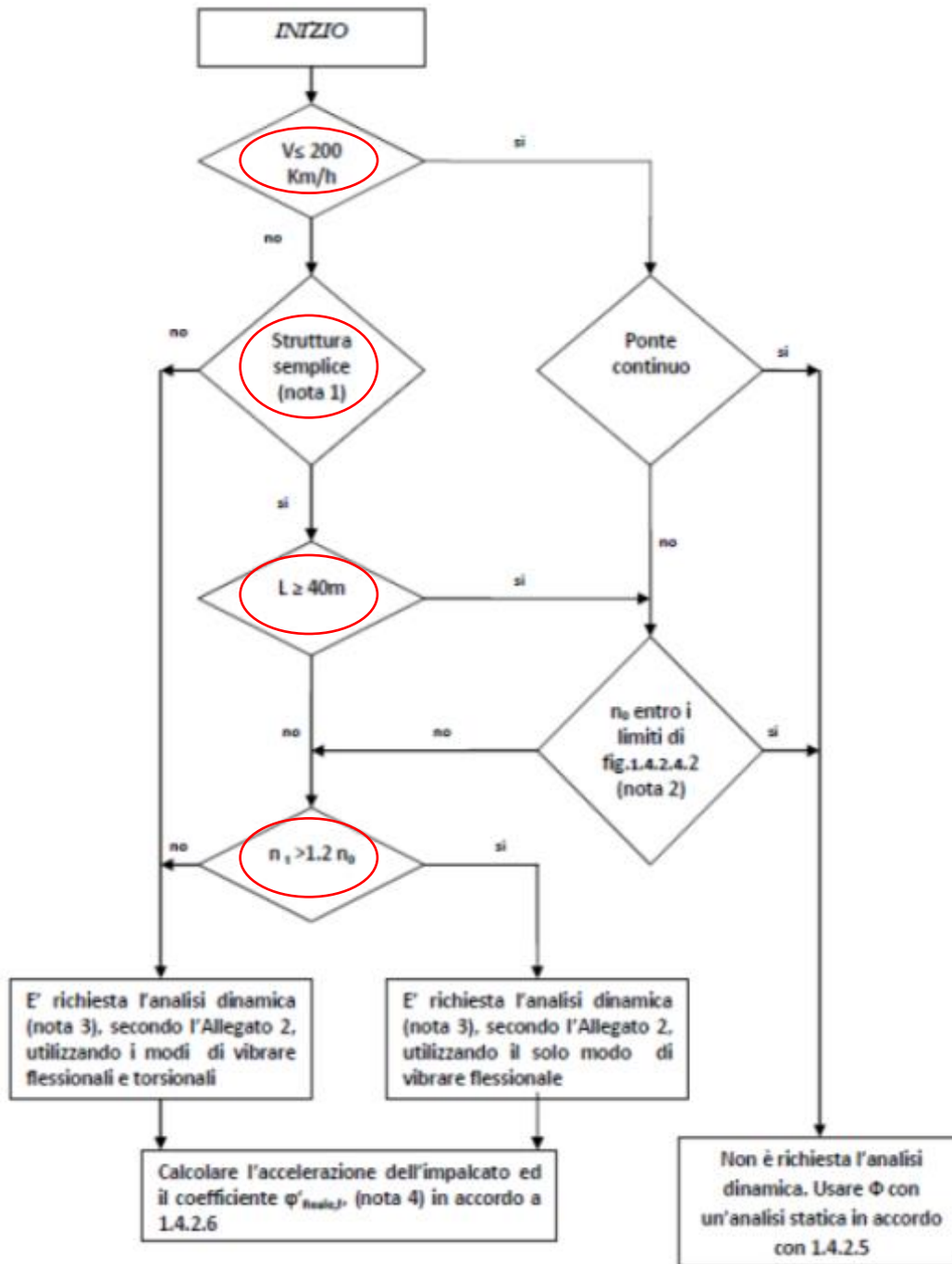


Fig. 2.5.1.4.2.4-1- Diagramma di flusso per determinare se è richiesta l'analisi dinamica

Fig. 11 – Estratto dal Manuale di Progettazione RFI

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 23 di 111

8.5 FRENATURA E AVVIAMENTO (Q₃)

Le forze di avviamento e frenatura agiscono in sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Si tratta di forze uniformemente distribuite su una lunghezza di binario determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento considerato.

I valori caratteristici definiti dalla normativa italiana sono (§ 5.2.2.3.3 NTC 2018):

- Avviamento: $Q_{ia,k} = 33 \text{ kN/m} \times L \leq 1000 \text{ kN}$ per treni di carico LM71 e SW/2
- Frenatura: $Q_{fb,k} = 20 \text{ kN/m} \times L \leq 6000 \text{ kN}$ per treni di carico LM71
- Frenatura: $Q_{lb,k} = 35 \text{ kN/m} \times L$ per treni di carico SW/2

Questi valori caratteristici vanno moltiplicati per i coefficienti α ($\alpha_{LM71} = 1,1$ e $\alpha_{SW2} = 1,0$), ma non per l'incremento dinamico ϕ .

8.6 SERPEGGIO (Q₄)

Come definito nel D.M. 2018, "l'azione laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario". La forza applicata è di 100 kN.

Questo valore caratteristico va moltiplicato per il coefficiente α , ma non per l'incremento dinamico ϕ .

8.7 RITIRO E VISCOSITÀ DEL CALCESTRUZZO (E₂)

L'effetto del ritiro del calcestruzzo viene valutato secondo NTC 2018 § 11.2.10.6 e 7.

I parametri per il calcolo sono i seguenti:

- Modulo elastico del calcestruzzo: $E_m = 33.346 \text{ MPa}$
- dimensione fittizia: $h_0 = 2 \times A_c / u = 2 \times 2,23 / 10 = 446 \text{ mm}$
- resistenza caratteristica del calcestruzzo $R_{ck} = 40 \text{ MPa}$
- resistenza cilindrica del calcestruzzo $f_{ck} = 32 \text{ MPa}$
- umidità relativa RH pari al 75 % $\rightarrow k_h = 0,7$

f_{ck}	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Fig. 12 – Valori di ε_0 – tabella del D.M.2018

- deformazione per ritiro da essiccamento $\varepsilon_{c0} = -304 \times 10^{-6}$
- deformazione da ritiro per essiccamento a tempo infinito $\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \times \varepsilon_{c0} = -214 \times 10^{-6}$
- deformazione per ritiro autogeno a tempo infinito $\varepsilon_{ca,\infty} = -2,5 (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = -55 \times 10^{-6}$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 24 di 111

La deformazione totale per ritiro risulta: $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca,\infty} = -269 \times 10^{-6}$

Si considera l'utilizzo di additivi anti-ritiro che consentono di ottenere un valore di contrazione per ritiro:

$$\varepsilon = \varepsilon_{cs} / 2 = -134 \times 10^{-6}$$

Considerando di applicare il carico al tempo $t_0 = 28$ giorni, il coefficiente di viscosità al tempo infinito risulta $\phi(t, t_0) = 1,67$. Il modulo elastico del calcestruzzo a lungo termine pertanto risulta $E_{c\infty} = E_{cm} / (1 + \phi) = 12.471$ MPa.

8.8 VENTO (Q_5)

Secondo la normativa di riferimento (D.M. 2018 - §5.1.3.7) l'azione del vento è convenzionalmente pari ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse del ponte. La pressione del vento è definita come:

$$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

dove:

- q_b è la pressione cinetica di riferimento calcolata come $\frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2$
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il coefficiente aerodinamico
- c_d è il coefficiente dinamico (si assume pari ad 1,0)

L'opera oggetto della presente è situata in zona 1 - Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) - pertanto i parametri di riferimento sono:

- $v_{b,0} = 25$ [m/s] – definita dalla normativa per un tempo di ritorno di 50 anni
- $a_0 = 1000$ [m]
- $k_a = 0,01$ [1/s]

Si ottiene una pressione cinetica di riferimento q_b di 0,391 kN/m².

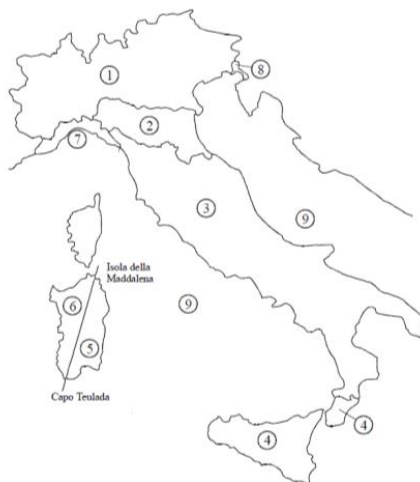


Fig. 13 – Mappa delle zone in cui p diviso il territorio italiano per l'azione del vento – D.M.2018

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 25 di 111

Per il calcolo del coefficiente di esposizione si considera una classe di rugosità D (area priva di ostacoli), una zona 1 e di conseguenza una categoria III (si considera una quota di 550 m.s.l.m) da cui si ottengono i seguenti parametri:

- $k_r = 0,20$ [-]
- $z_0 = 0,10$ [m]
- $z_{min} = 5,0$ [m]

Tabella 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Fig. 14 – Coefficiente di esposizione del vento - parametri – D.M.2018

Ad un'altezza di riferimento dal suolo $z = 32\text{m}$ risulta pertanto un coefficiente di esposizione c_e pari a 2,95.

Il coefficiente di pressione si determina come previsto da normativa per le travi ad anima piena accoppiate. Poichè nel caso in esame le barriere fonoassorbenti ricoprono completamente le travi, si calcola il coefficiente di pressione prendendo come riferimento le barriere stesse. Quindi con $B/H = 7,6/5 = 1,52 < 2H$, il coefficiente di pressione c_p risulta:

- sopravento: $c_p = 2,4 - \varphi = 2,4 - 1,0 = 1,4$ (dove $\varphi = 1$ è il rapporto di solidità)
- sottovento: $\mu \times c_p = 0,2 \times 1,4 = 0,28$

Pertanto la pressione del vento totale agente sulle due barriere del ponte risulta:

- sopravento: $0,391 \times 2,95 \times 1,4 \times 1,0 = 1,61 \text{ kN/m}^2$ (che corrisponde a $0,83 q_{tot}$)
- sottovento: $0,391 \times 2,95 \times 0,28 \times 1,0 = 0,32 \text{ kN/m}^2$ (che corrisponde a $0,17 q_{tot}$)

La pressione totale q_{tot} risulta pari a $1,93 \text{ kN/m}^2$.

Si assume cautelativamente un valore di pressione totale pari a $2,5 \text{ kN/m}^2$.

L'area investita dal vento risulta data dalla somma dell'altezza della barriera fonoassorbente ($h_1 = 5\text{m}$) e della parte del convoglio che supera la barriera ($h_2 = 1 \text{ m}$ considerando l'altezza del convoglio pari a 4m dal piano del ferro come previsto da normativa), per un totale di $6,06 \text{ m}$ (Fig. 15).

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 26 di 111

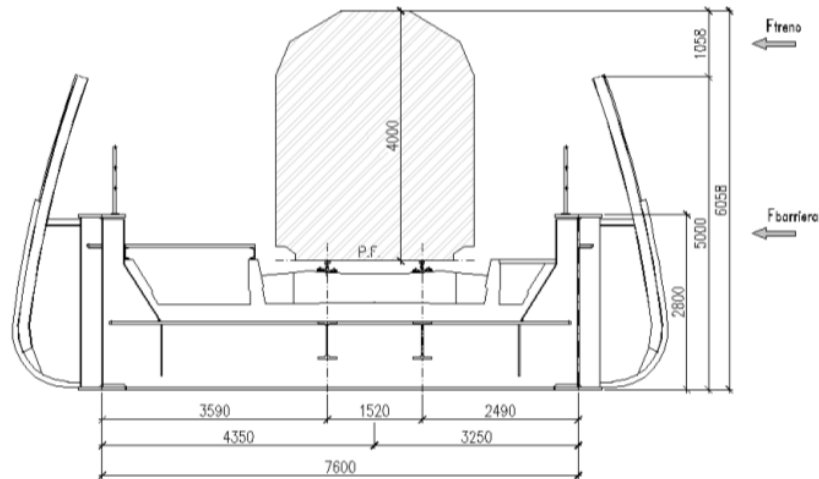


Fig. 15 – Sezione trasversale tipica del ponte – altezza investita dal vento

8.9 EFFETTI AERODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI FERROVIARI

Come definito nel Manuale di Progettazione RFI e ricavato dal grafico in Fig. 16, il valore caratteristico dell'azione sul pannello risulta pari a $0,6 \text{ kN/m}^2$ considerando:

- una distanza a_g dall'asse del binario pari a 3,70m
- una velocità massima di percorrenza pari a 250 km/h

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 27 di 111

5.2.2.6.1 Superfici verticali parallele al binario

I valori caratteristici dell'azione $\pm q_{1k}$ relativi a superfici verticali parallele al binario sono forniti in Fig. 5.2.8 in funzione della distanza a_g dall'asse del binario più vicino.

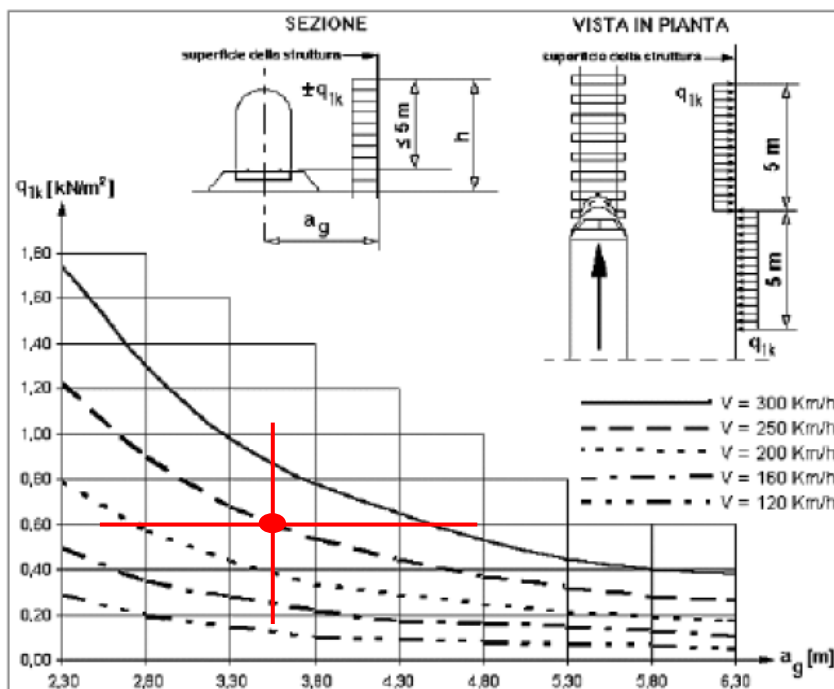


Figura 5.2.8 – Valori caratteristici delle azioni q_{1k} per superfici verticali parallele al binario

Fig. 16 – Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari – estratto del Manuale di Progettazione RFI

8.10 CARICO SUI MARCIAPIEDI (Q_6)

Il carico sulla passerella di servizio è definito come da normativa pari a 10 kN/m².

Questo carico non si considera contemporaneo al transito dei convogli ferroviari e non è soggetto all'incremento dinamico.

8.11 VARIAZIONI TERMICHE (Q_7)

8.11.1 Uniforme

Si considera una variazione termica uniforme pari a $\pm 25^\circ\text{C}$ ed una differenza di temperatura di 5°C tra la soletta in calcestruzzo e la trave in acciaio.

Per la determinazione delle escursioni degli apparecchi di appoggio è stata considerata una variazione termica uniforme di $25^\circ \times 1,5 = 37,5^\circ\text{C}$.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 28 di 111

8.11.2 Non Uniforme

In aggiunta, si considera un gradiente di temperatura di 5°C fra estradosso ed intradosso delle travi principali.

8.12 AZIONE SISMICA (E)

Gli spettri di progetto definiti sono stati determinati a partire dalle coordinate, la vita nominale, la classe d'uso, le categorie topografiche e di sottosuolo e in base allo stato limite da considerare.

In particolare per il ponte in oggetto, con riferimento al D.M.2018:

- Long = 11.60111; Lat = 46.65667
- Vn = 75 anni
- classe d'uso = III dunque Cu = 1,5
- Stato limite considerato SLV
- TR = 1068 anni
- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1
- Fattore di struttura: q = 1

Gli spettri di progetto in direzione orizzontale e verticale sono illustrati in Fig. 17 e Fig. 18.

L'azione sismica si determina tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali secondo la relazione:

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

dove:

- G1 e G2 rappresentano le masse dei pesi propri e dei carichi permanenti
- $\psi_{2j} Q_{kj}$ rappresenta il 20% della massa corrispondente al carico da traffico ($\psi_{2j} = 0,2$) come indicato al §5.2.2.8 del D.M.2018

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO			
PROGETTAZIONE:					
Mandataria:	Mandanti:	11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria				
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	29 di 111

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

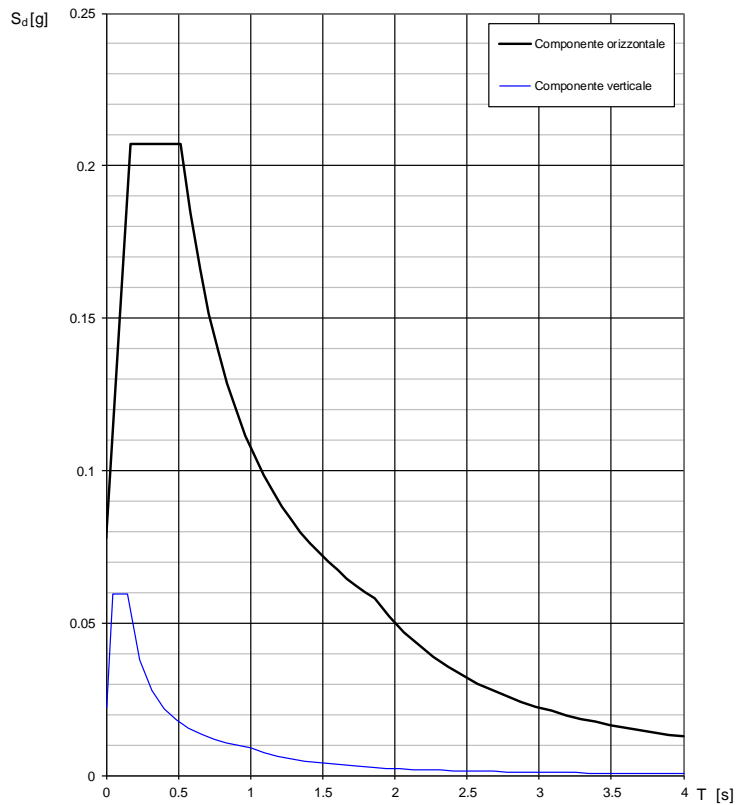


Fig. 17 – Spettro di risposta di progetto – componente orizzontale e verticale

Sisma Orizzontale		Sisma Verticale	
Parametri indipendenti		Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV	STATO LIMITE	SLV
a_q	0.065 g	a_{qv}	0.022 g
F_o	2.666	S_S	1.000
T_C	0.391 s	S_T	1.000
S_S	1.200	q	1.000
C_C	1.327	T_B	0.050 s
S_T	1.000	T_C	0.150 s
q	1.000	T_D	1.000 s
Parametri dipendenti		Parametri dipendenti	
S	1.200	F_v	0.916
η	1.000	S	1.000
T_B	0.173 s	η	1.000
T_C	0.519 s		
T_D	1.859 s		

Fig. 18 – Parametri dello spettro di risposta – componente orizzontale e verticale

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 30 di 111

8.13 DERAGLIAMENTO (Q_{10})

Il deragliamento è un'azione derivante dall'esercizio ferroviario che deve essere considerata quale azione eccezionale.

- Caso 1: Si devono considerare due carichi verticali lineari $q_{A1d} = 60 \text{ kN/m}$ ciascuno, posizionati longitudinalmente su una lunghezza di 6,40 m, ad una distanza trasversale pari allo scartamento S . Il carico più eccentrico tra i due deve essere posto ad una distanza massima di $1,5 \times S$ dall'asse dei binari (con $S = 1435 \text{ mm}$).

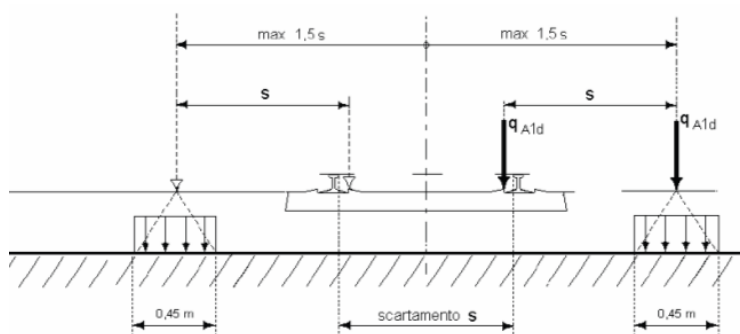


Fig. 19 – Deragliamento – caso 1

- Caso 2: Si deve considerare un unico carico lineare $q_{A2d} = 80 \times 1,4 \text{ kN/m}$ esteso per 20 m e disposto con una eccentricità massima, lato esterno, di $1,5 \times S$ rispetto all'asse del binario.

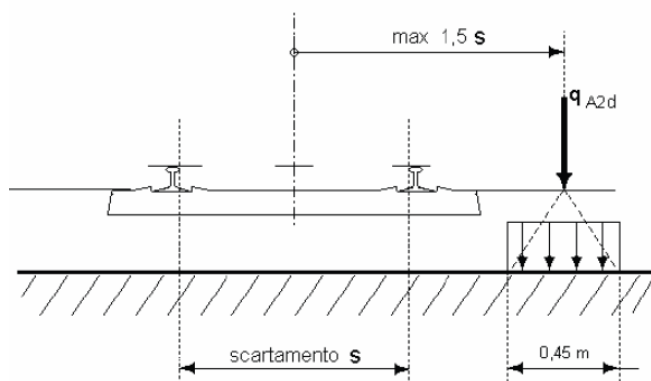


Fig. 20 – Deragliamento – caso 2

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 31 di 111

9. COMBINAZIONI

Le azioni descritte ai paragrafi precedenti vengono combinate tramite opportuni coefficienti, come definito dalla normativa per le verifiche agli Stati Limite.

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fig. 21 – Combinazioni delle azioni - §2.5.3 del D.M.2018

I coefficienti parziali per le combinazioni agli SLU sono evidenziati in Fig. 22.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

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

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

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

Fig. 22 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU: §5.2.3 del D.M.2018

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 32 di 111

I coefficienti di combinazione Ψ sono riportati in Fig. 23.

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Fig. 23 – Coefficienti di combinazione: §5.2.3 del D.M.2018

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli sono combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella in Fig. 24:

Tab. 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)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	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

Fig. 24 – Valutazione dei carichi da traffico: §5.2.3 del D.M.2018

Le tabelle seguenti riassumono le combinazioni di carico agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio considerate per la verifica della struttura. Per ogni combinazione sono indicati i coefficienti massimi e minimi: nel combinare i carichi si considera il coefficiente più gravoso tra i due.

APPALDATORE:		 		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		Mandatario:		Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.		PINI ITALIA		GDP GEOMIN		SIFEL SIST		M Ingegneria	
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m				COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 33 di 111

		G1	G2	E2	LM71	SW2	Erve_FrenLM71_tot	Erve_FrenSW2_tot	ENVE_Q4	DT_U+	DT_U+deltaSol	DT_U-	DT_U-deltaSol	DT_Grad	Q5-VentoDX	Q5-VentoSX	Q5-VentoDX_s	Q5-VentoSX_s
1	max	1.35	1.50	1.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.50	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
2	max	1.35	1.50	1.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.50
	min	1.00	1.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
3	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0.90	0	0	0.90	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.90	0.00	0	0	0
4	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0.90	0	0	0.90	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.90	0.00	0	0	0
5	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0	0.90	0	0.90	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	-0.90	0.00	0	0	0
6	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0	0	0.90	0.90	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-0.90	0.00	0	0	0
7	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0.90	0	0	0.90	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.90	0	0.00	0	0
8	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0.90	0	0	0.90	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.90	0	0.00	0	0
9	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0	0.90	0	0.90	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	-0.90	0	0.00	0	0
10	max	1.35	1.50	1.20	1.60	0	1.60	0	0.80	0	0	0	0.90	0.90	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-0.90	0	0.00	0	0
11	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0.90	0	0	0.90	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	-0.90	0.00	0	0	0
12	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0	0.90	0	0.90	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.90	0.00	0	0	0
13	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0	0	0.90	0.90	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-0.90	0.00	0	0	0
14	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0	0	0	0.90	0.90	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-0.90	0.00	0	0
15	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0.90	0	0	0.90	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	-0.90	0	0.00	0	0
16	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0	0.90	0	0.90	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.90	0	0.00	0	0
17	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0	0	0.90	0.90	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-0.90	0	0.00	0	0
18	max	1.35	1.50	1.20	0	1.45	0	1.45	0	0.73	0	0	0	0.90	0.90	0	0.90	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-0.90	0	0.00	0

Fig. 25 – Combinazioni SLU (tabella1)

APPALTATORE:		 		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO							
PROGETTAZIONE:		Mandatario:		Mandanti:							
SWS Engineering S.p.A.		PINI ITALIA		GDP GEOMIN		SIFEL SIST					
				M Ingegneria							
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m				COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 34 di 111		

		G1	G2	E2	LM71	SW2	Enve_FrenLM71_tot	Enve_FrenSW2_tot	ENVE_Q4	DT_U+	DT_U+deltaSol	DT_U-	DT_U-deltaSol	DT_Grad	Q5-VentoDX	Q5-VentoSX	Q5-VentoDX_S	Q5-VentoSX_S
19	max	1.35	1.50	1.20	1.276	0	1.28	0	0.64	0	1.50	0	0	1.50	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-1.50	0.00	0	0	0
20	max	1.35	1.50	1.20	1.28	0	1.28	0	0.64	0	1.50	0	0	1.50	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-1.50	0.00	0	0	0
21	max	1.35	1.50	1.20	1.28	0	1.28	0	0.64	0	1.50	0	0	1.50	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-1.50	0.00	0	0	0
22	max	1.35	1.50	1.20	1.28	0	1.28	0	0.64	0	0	0	1.50	1.50	0.90	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-1.50	0.00	0	0	0
23	max	1.35	1.50	1.20	1.28	0	1.28	0	0.64	0	1.50	0	0	1.50	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-1.50	0	0.00	0	0
24	max	1.35	1.50	1.20	1.28	0	1.28	0	0.64	0	1.50	0	0	1.50	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-1.50	0	0.00	0	0
25	max	1.35	1.50	1.20	1.28	0	1.28	0	0.64	0	0	1.50	0	1.50	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	-1.50	0	0.00	0	0
26	max	1.35	1.50	1.20	1.28	0	1.28	0	0.64	0	0	0	1.50	1.50	0	0.90	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-1.50	0	0.00	0	0
27	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	1.50	0	0	1.50	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	-1.50	0.00	0	0	0
28	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	0	1.50	0	1.50	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-1.50	0.00	0	0	0
29	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	0	0	1.50	1.50	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-1.50	0.00	0	0	0
30	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	0	0	1.50	1.50	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-1.50	0.00	0	0	0
31	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	1.50	0	0	1.50	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	-1.50	0	0.00	0	0
32	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	0	1.50	0	1.50	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-1.50	0	0.00	0	0
33	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	0	0	1.50	1.50	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-1.50	0	0.00	0	0
34	max	1.35	1.50	1.20	0	1.16	0	1.16	0	0.58	0	0	1.50	1.50	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-1.50	0	0.00	0	0

Fig. 26 – Combinazioni SLU (tabella2)

APPALTATORE:		 		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		Mandatario:		Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.		PINI ITALIA		GDP GEOMIN		SIFEL SIST		M Ingegneria	
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m				COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 35 di 111

		G1	G2	E2	LM71	SW2	Enve_FrenLM71_tot	Enve_FrenSW2_tot	ENVE_Q4	DT_U+	DT_U+deltaSol	DT_U-	DT_U-deltaSol	DT_Grad	Q5-VentoDX	Q5-VentoSX	Q5-VentoDX_S	Q5-VentoSX_S
1	max	1.00	1.00	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.50	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0
2	max	1.00	1.00	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.50
	min	1.00	1.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
3	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0.60	0	0	0.60	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.60	0.00	0	0	0
4	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0.60	0	0	0.60	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.60	0.00	0	0	0
5	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0	0.60	0	0.60	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	-0.60	0.00	0	0	0
6	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0	0	0.60	0.60	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-0.60	0.00	0	0	0
7	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0.60	0	0	0.60	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.60	0	0.00	0	0
8	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0.60	0	0	0.60	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-0.60	0	0.00	0	0
9	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0	0.60	0	0.60	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	-0.60	0	0.00	0	0
10	max	1.00	1.00	1.00	1.39	0	1.10	0	0.55	0	0	0	0.60	0.60	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-0.60	0	0.00	0	0
11	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0.60	0	0	0	0.60	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	-0.60	0.00	0	0	0
12	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0	0.60	0	0	0.60	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.60	0.00	0	0	0
13	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0	0.60	0	0	0.60	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.60	0.00	0	0	0
14	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0	0	0.60	0.60	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-0.60	0.00	0	0	0
15	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0.60	0	0	0	0.60	0	0.60	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	-0.60	0	0.00	0	0
16	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0	0.60	0	0	0.60	0	0.60	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.60	0	0.00	0	0
17	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0	0.60	0	0	0.60	0	0.60	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.60	0	0.00	0	0
18	max	1.00	1.00	1.00	0	1.26	0	1.00	0	0.50	0	0	0.60	0.60	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	-0.60	0	0.00	0	0

Fig. 27 – Combinazioni SLE Rara (tabella 1)

APPALTATORE:		 		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		Mandatario:		Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.		PINI ITALIA		GDP GEOMIN		SIFEL SIST		M Ingegneria	
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m				COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 36 di 111

		G1	0	E2	LM71	SW2	Enve_FrenLM71_tot	Enve_FrenSW2_tot	ENVE_Q4	DT_U+	DT_U+deltaSol	DT_U-	DT_U-deltaSol	DT_Grad	Q5-VentoDX	Q5-VentoSX	Q5-VentoDX_S	Q5-VentoSX_S	
19	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	1.00	0	0	0	1.00	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	-1.00	0.00	0	0	0
20	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	0	1.00	0	0	1.00	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0	-1.00	0.00	0	0	0
21	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	0	0	1.00	0	1.00	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0	-1.00	0.00	0	0	0
22	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	0	0	0	1.00	1.00	0.60	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0.00	-1.00	0.00	0	0	0
23	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	1.00	0	0	0	1.00	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	-1.00	0	0.00	0	0
24	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	0	1.00	0	0	1.00	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	0	-1.00	0	0.00	0	0
25	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	0	0	1.00	0	1.00	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	0	-1.00	0	0.00	0	0
26	max	1.00	1.00	1.00	1.11	0	0.88	0	0.44	0	0	0	0	1.00	1.00	0	0.60	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0.00	-1.00	0	0.00	0	0
27	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	1.00	0	0	0	1.00	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0	-1.00	0.00	0	0	0
28	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	0	1.00	0	0	1.00	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-1.00	0.00	0	0	0
29	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	0	0	1.00	0	1.00	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	-1.00	0.00	0	0	0
30	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	0	0	0	1.00	1.00	0.00	0	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-1.00	0.00	0	0	0
31	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	1.00	0	0	0	1.00	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0	-1.00	0	0.00	0	0
32	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	0	1.00	0	0	1.00	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	-1.00	0	0.00	0	0
33	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	0	0	1.00	0	1.00	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0.00	0	-1.00	0	0.00	0	0
34	max	1.00	1.00	1.00	0	1.01	0	0.80	0	0.40	0	0	0	1.00	1.00	0	0.00	0	0
	min	1.00	1.00	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0.00	-1.00	0	0.00	0	0

Fig. 28 – Combinazioni SLE Rara (tabella 2)

I coefficienti indicati in tabella includono i coefficienti di adattamento dei treni, ma non includono il coefficiente di incremento dinamico.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 37 di 111

10. IMPALCATO – EFFETTI GLOBALI

10.1 MODELLO DI CALCOLO

Per l'analisi delle sollecitazioni si ricorre al metodo degli elementi finiti, modellando l'impalcato con elementi beam, geometricamente collocati in corrispondenza dell'asse baricentrico reale (Fig. 29).

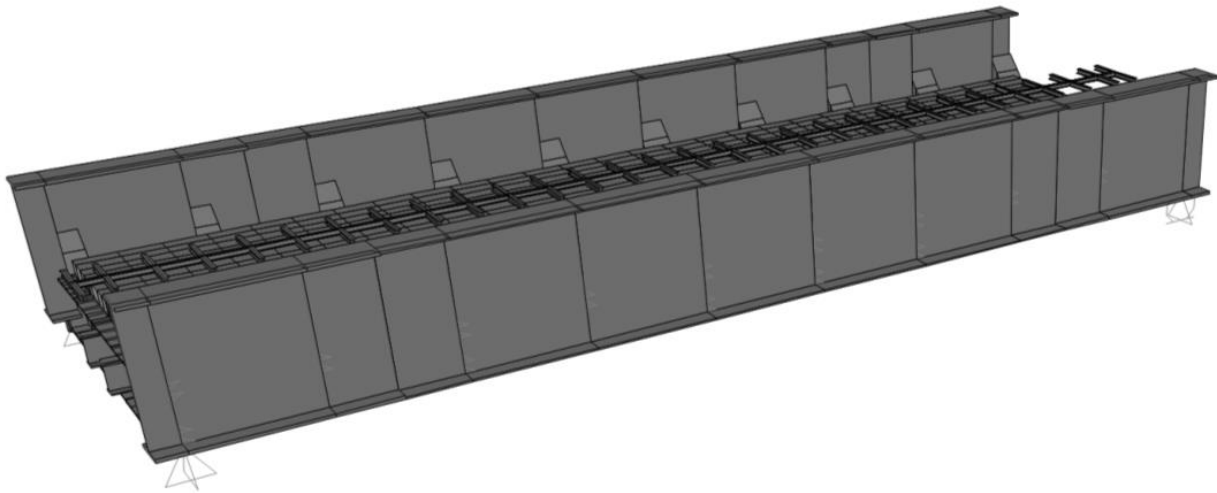


Fig. 29 - Modello FEM – vista 3D (completa)

La soletta è rappresentata da elementi shell posizionati nel piano medio della soletta e collegati ai traversi e alle longherine sottostanti tramite joint constraint.

I controventi inferiori sono rappresentati da elementi beam posizionati nel piano di controvento, ossia in corrispondenza della piattabanda inferiore della trave principale. Per collegare le aste di controvento alla trave principali sono stati utilizzati elementi link rigidi.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 38 di 111

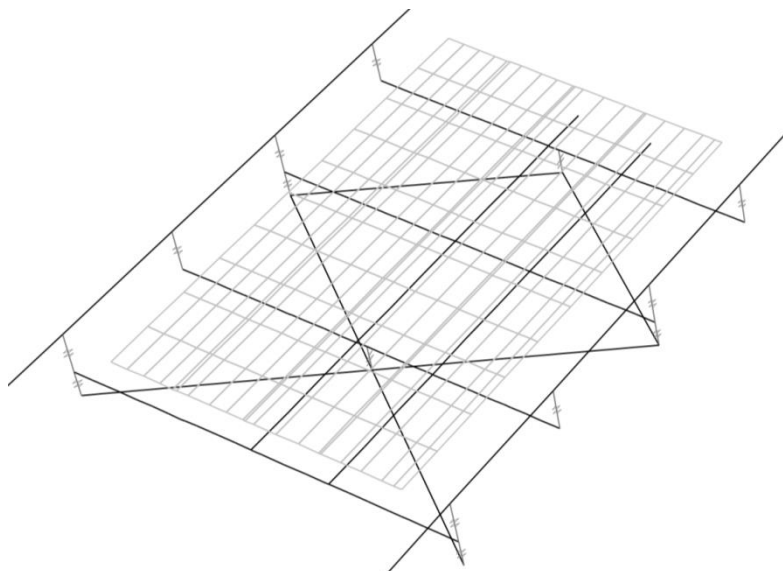


Fig. 30 – Modello FEM di una porzione di impalcato: travi, traversi, longherine, controventi e soletta

Gli assi globali X, Y e Z del modello indicano rispettivamente la direzione longitudinale, trasversale e verticale dell'impalcato.

Gli apparecchi d'appoggio sono stati modellati in maniera tale da riprodurre lo schema di vincolo riportato negli elaborati grafici (Fig. 31).

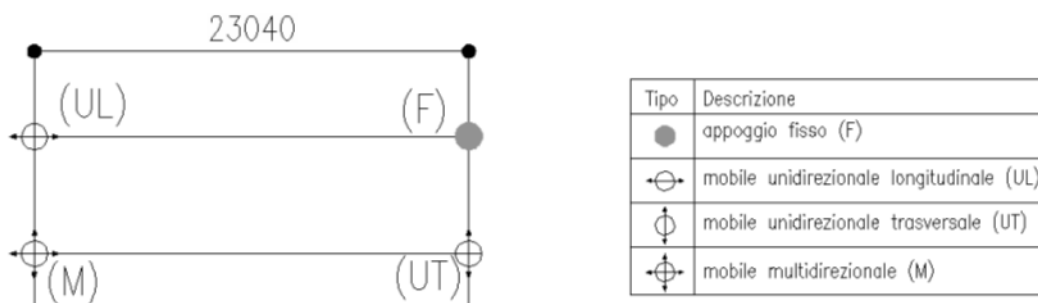


Fig. 31 – Schema di vincolo

Tutte le analisi effettuate con il modello globale prevedono questo schema di vincolo, ad eccezione dell'analisi sismica trasversale. Infatti, il gioco tra l'alloggiamento dei dispositivi di appoggio e gli appoggi stessi non incastra la struttura alla pila (come invece risulta dallo schema di vincolo "statico"): liberando lo spostamento longitudinale in pila per l'appoggio UT si calcola la forza sismica trasversale agente sul ritegno sismico.

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	39 di 111

Per considerare le fasi di vita della struttura ed in particolare della soletta in calcestruzzo, si definisce il modulo elastico del calcestruzzo per ciascuna fase in funzione della durata del carico. Questa soluzione permette di calcolare le sollecitazioni prodotte da ciascun carico in ciascuna fase nelle varie aste della struttura e, successivamente, sommarle e combinarle tramite i coefficienti di combinazione previsti dalla normativa. Solamente per le travi principali sono state calcolate le tensioni per la singola condizione di carico e sono state successivamente combinate le tensioni secondo i coefficienti di combinazione.

Fase I

Tale fase coincide con la posa in opera delle travi metalliche e getto della soletta in calcestruzzo; il calcestruzzo della la soletta non è ancora collaborante; i carichi agenti sono il peso proprio della carpenteria metallica e del getto della soletta in cls.

Fase II

In fase II vengono considerati agenti i carichi a lungo termine, ovvero:

- azioni permanenti (peso del ballast, dei massetti, ..)
- ritiro della soletta in calcestruzzo,

In questa fase, il modulo elastico della soletta in calcestruzzo (rappresentato da elementi shell nel modello FEM) è modificato in modo da considerare la resistenza della soletta per gli effetti di lungo termine. Il rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio ($E = 210.000 \text{ MPa}$) e quello del calcestruzzo in questa fase ($E = 12.470 \text{ MPa}$) è $n = 16,8$.

Fase III

In tale fase si considerano tutti i carichi di tipo istantaneo, ovvero:

- carichi viaggianti ed azioni collegate
- vento
- variazioni termiche

Per questi carichi, il rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio ($E = 210.000 \text{ MPa}$) e quello del calcestruzzo ($E = 33.350 \text{ MPa}$) è $n = 6,3$.

Trattandosi di un ponte in semplice appoggio, la soletta si considera interamente reagente.

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 40 di 111

10.2 ASSEGNAZIONE DEI CARICHI

10.2.1 Pesì Propri (G_1)

Il peso proprio della carpenteria metallica è calcolato in automatico dal software considerando un peso specifico dell'acciaio pari a $78,5 \times 1,2 \text{ kN/m}^3$.

Il peso proprio della soletta è applicato ai traversi come carico uniformemente distribuito.

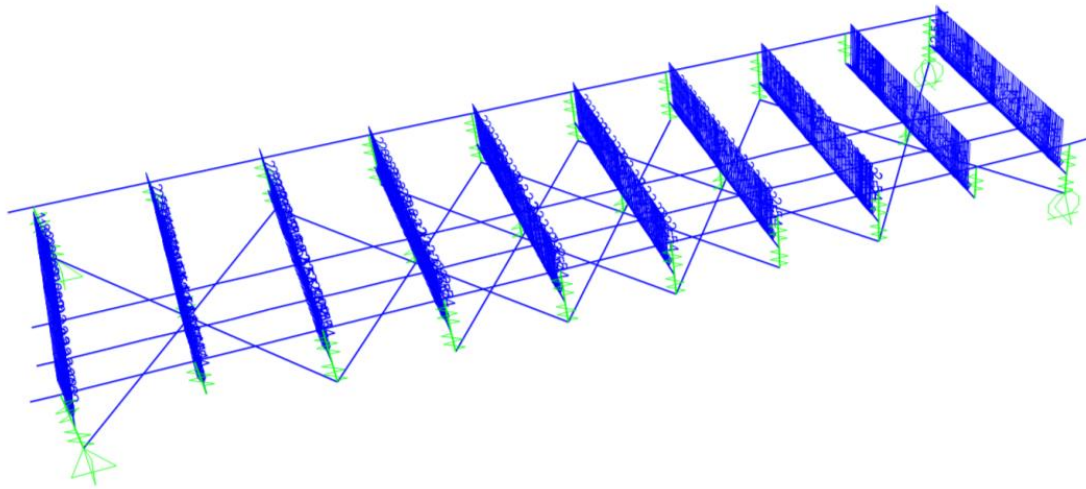


Fig. 32 - Modello FEM: carico uniforme sui traversi – peso proprio soletta

10.2.2 Permanenti portati (G_2)

I carichi permanenti sono applicati come carichi uniformemente distribuiti sui traversi in funzione della loro posizione. Le immagini seguenti mostrano la distribuzione di carico unitaria applicata al traverso centrale – tipico; il carico è stato amplificato all'interno delle Load Cases di analisi.

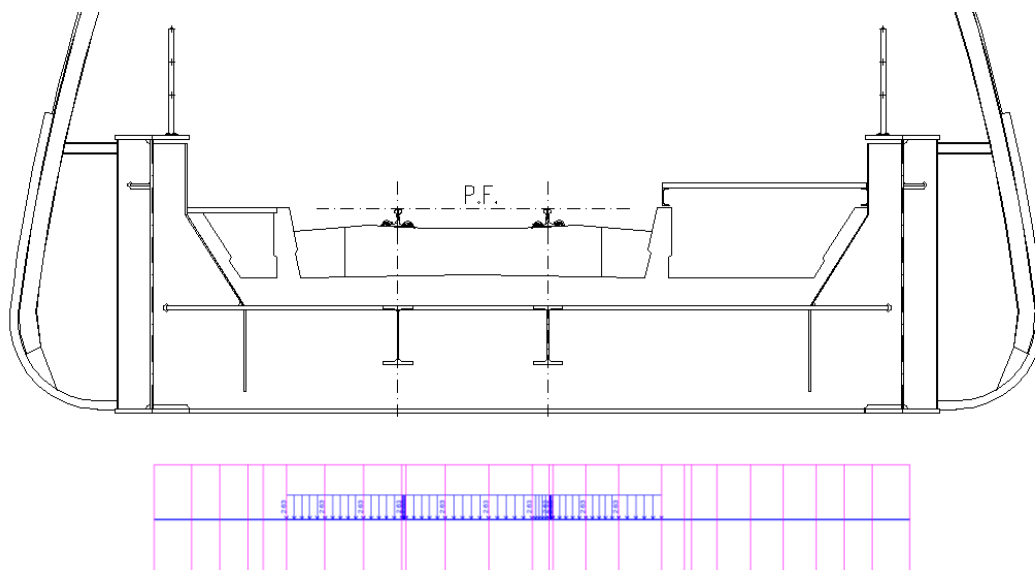


Fig. 33 – Sezione centrale tipica (sopra) e carico uniforme sui traversi per l'armamento applicato nel modello FEM (sotto)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 41 di 111



Fig. 34 - Modello FEM: carico uniforme sui traversi – massetto

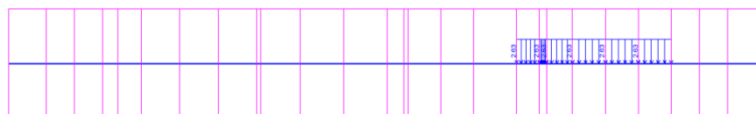


Fig. 35 - Modello FEM: carico uniforme sui traversi – impianti

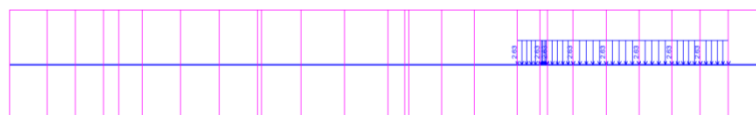


Fig. 36 - Modello FEM: carico uniforme sui traversi – passerella d'emergenza

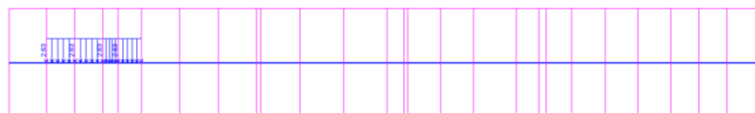
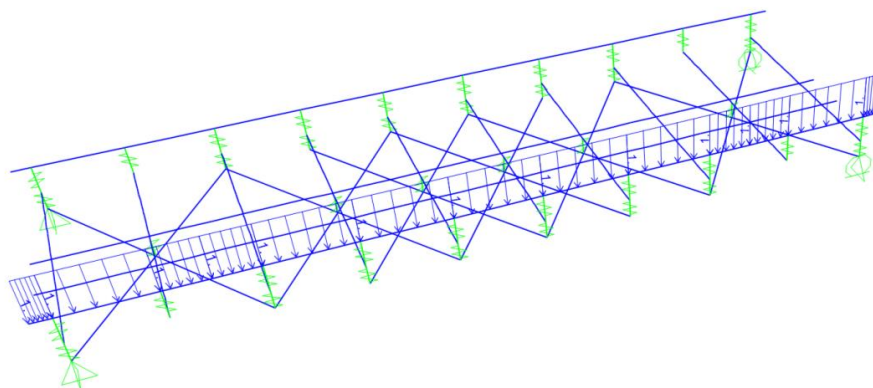


Fig. 37 - Modello FEM: carico uniforme sui traversi – passerella di servizio

I carichi delle barriere e dei parapetti sono applicati direttamente alle travi principali tramite una distribuzione uniforme unitaria, poi amplificata all'interno della Load Case di analisi.



APPALTATORE:	webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 42 di 111

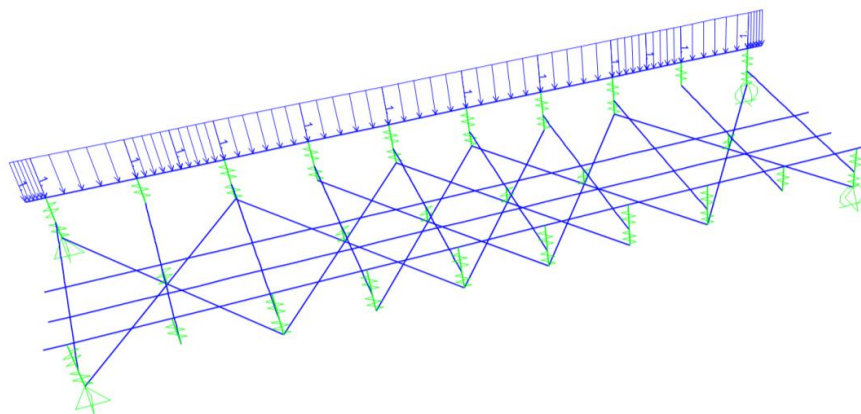


Fig. 38 - Modello FEM: carico uniforme sui traversi – barriere e parapetti

10.2.3 Carichi Viaggianti (Q_1)

I carichi ferroviari (verticali) sono applicati al modello FEM tramite la definizione dei carichi mobili che transitano su un "path" evidenziato in rosa in Fig. 39. Il path è definito tramite degli elementi beam "fittizi" ossia di rigidezza nulla, svincolati alle estremità, posizionati alla quota dei binari e collegati alle longherine sottostanti tramite elementi "joint constraint" fissi (che vincolano UX, UY, UZ, RX, RY, RZ). La Fig. 40 mostra in modo schematico la modellazione FEM di un tratto di impalcato.

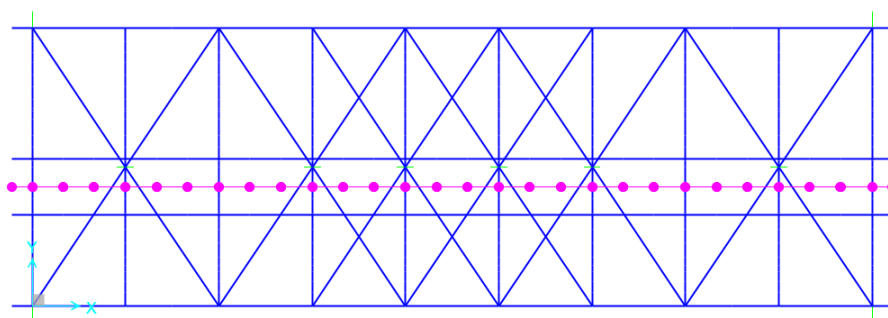


Fig. 39 Modello FEM: carichi viaggianti

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 43 di 111

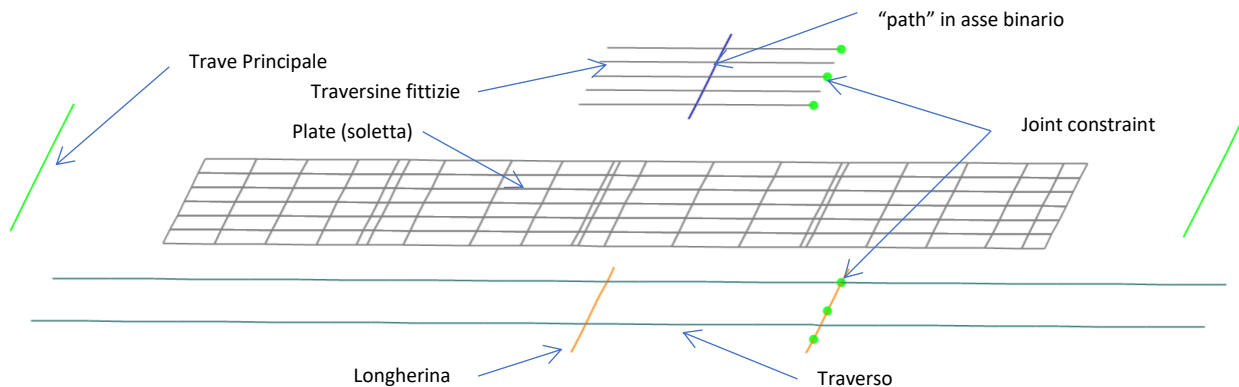


Fig. 40 Modello FEM: definizione del "path" su cui transitano i carichi mobili

La modellazione FEM adottata permette di rappresentare il carico alla quota del ferro e di ripartirlo in egual misura tra le due rotaie dello stesso binario.

10.2.4 Frenatura e avviamento dei treni (Q_3)

Ai beam fittizi che rappresentano i binari del treno, si applica una distribuzione uniforme di forze longitudinali tale da rappresentare il carico maggiore tra avviamento e frenatura definiti al §8.5, ossia:

- Avviamento (treno LM71, SW2): $Q_{la,k} = 33 \times 23,04 = 760,3$ kN applicato sull'intera lunghezza del ponte

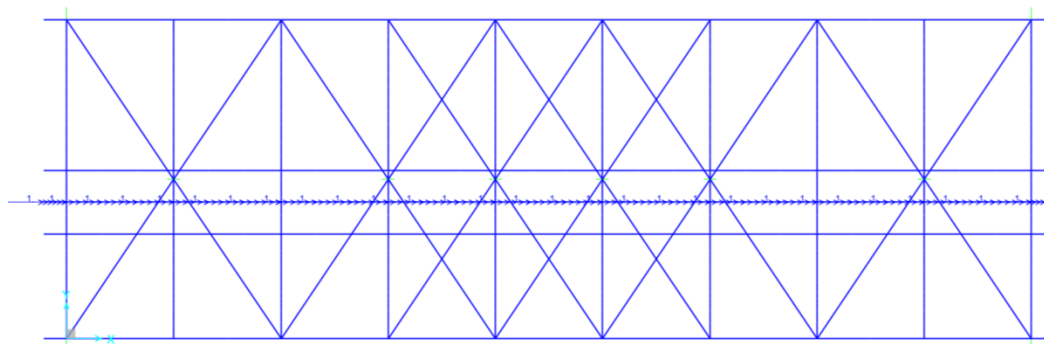


Fig. 41 Modello FEM: avviamento (treno LM71 ed SW2)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 44 di 111

10.2.5 Serpeggio (Q_4)

La forza laterale F_s indotta dal serpeggio è stata rappresentata tramite due forze trasversali $H=F_s/2$ (di uguale intensità e verso) applicate ai nodi di intersezione tra longherina e traverso, e da due forze verticali V (di uguale intensità ma verso opposto) che rappresentano la coppia torcente generata dalla forza trasversale ($V=+/- F_s \times H / B$). Si riporta schema in Fig. 42.

Per considerare gli effetti indotti dal serpeggio sull'intero ponte, sono state create 33 condizioni di carico, ciascuna delle quali rappresenta una forza trasversale al binario con step di avanzamento di 2,5m circa. Nel calcolo delle sollecitazioni globali si considera l'involuppo delle condizioni di carico.

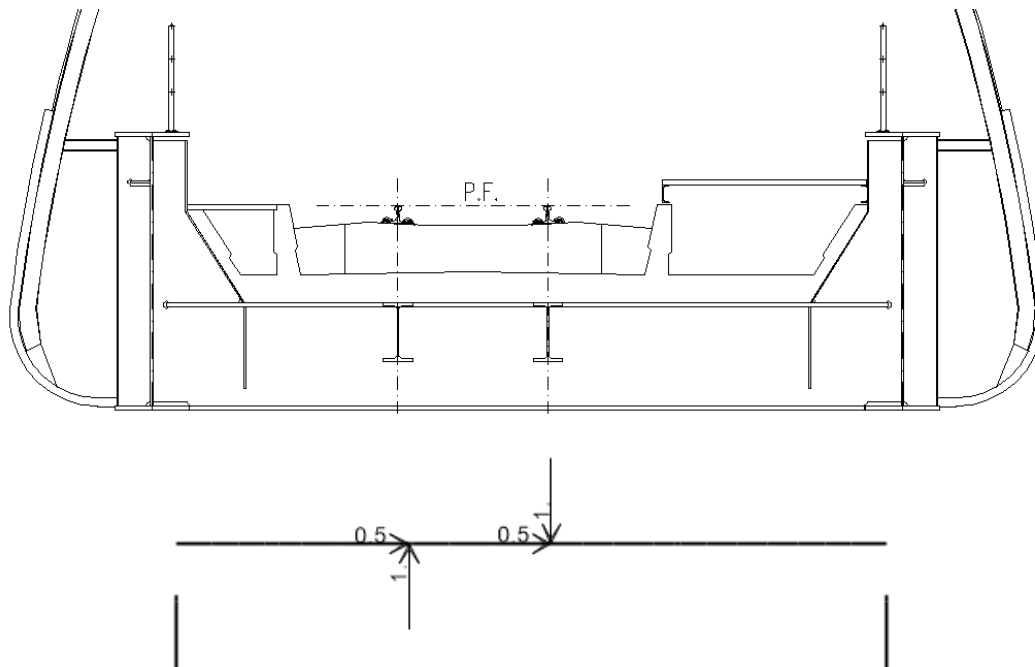


Fig. 42 Sezione trasversale tipica (sopra) e azione di serpeggio applicata nel modello FEM (sotto)

10.2.6 Ritiro del calcestruzzo (E_2)

Il ritiro della soletta si applica a tutti gli elementi plate del modello FEM (in quanto interamente reagente - § 10.1) in termini di deformazione ϵ .

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 45 di 111

10.2.7 Vento (Q_5)

L'azione del vento è applicata agli elementi beam del modello FEM come carico uniformemente distribuito, in direzione Y. Inoltre, per tenere conto dell'eccentricità del carico da vento rispetto al baricentro della trave, è stata applicata una coppia M_x distribuita lungo la trave, che riporta il carico agli altri elementi dell'impalcato (soletta e controventi orizzontali).

Il carico è applicato alle due travi separatamente con intensità pari ad 1,0 ed è poi amplificato all'interno delle Load Case di analisi per creare l'azione definita al §8.8.

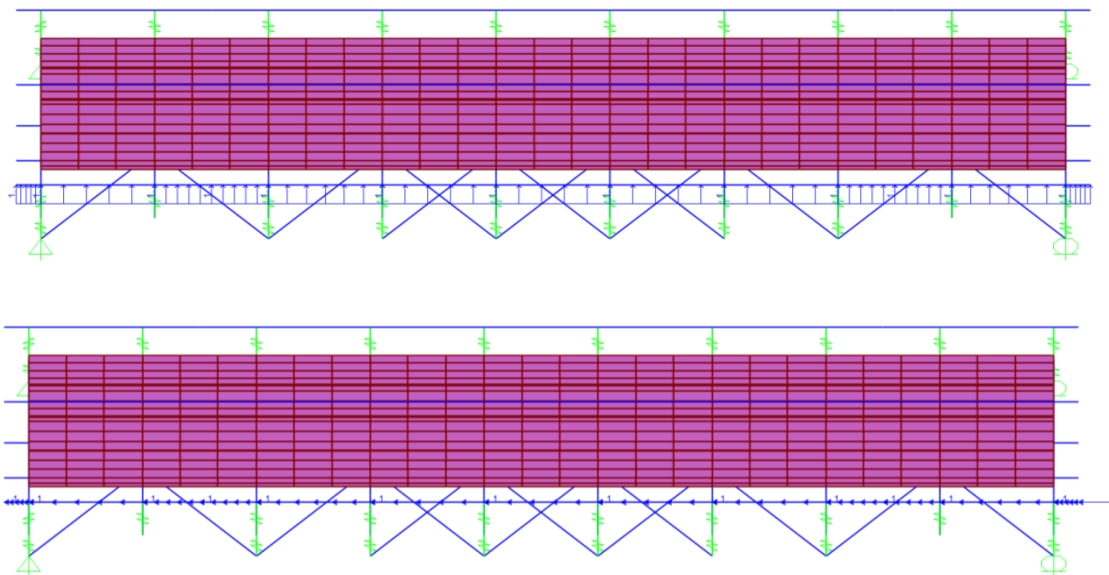


Fig. 43 Modello FEM: carico da vento su una trave (forza distribuita in Y e coppia torcente attorno all'asse X)

Infine, per rappresentare l'azione del vento sulla parte di treno che supera in altezza la barriera antirumore, sono state applicate delle forze concentrate direttamente sui nodi di intersezioni tra i trasversi e le longherine.

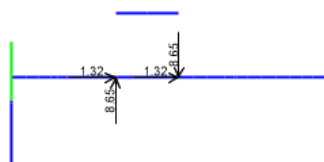


Fig. 44 Modello FEM: azione del vento sul treno

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 46 di 111

10.2.8 Carichi sui marciapiedi (Q6)

Il carico sui marciapiedi è applicato sulla passerella e non è concomitante con i carichi ferroviari.

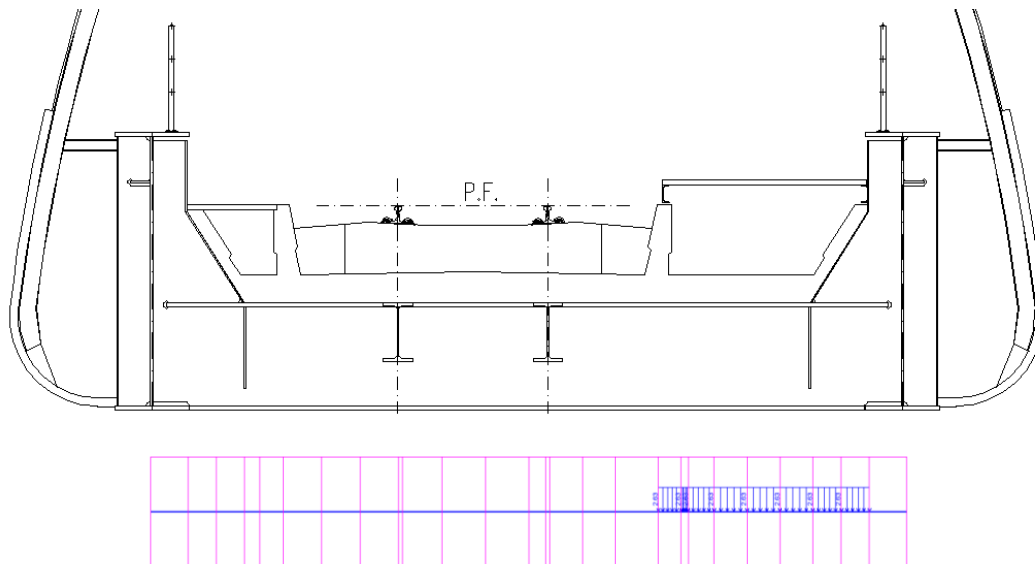


Fig. 45 Modello FEM: carico sui marciapiedi

10.2.9 Variazioni termiche

Per ciascuno dei quattro casi sotto riportati si applica la temperatura uniforme indicata agli elementi beam e plate del modello FEM.

	Carpenteria Metallica	Soletta
1)	+25 °C	+25 °C
2)	+25 °C	+30 °C
3)	-25 °C	-25 °C
4)	-25 °C	-20 °C

Si applica inoltre un gradiente termico pari a +/-5°C alle travi principali.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 47 di 111

10.2.10 Azioni sismiche (E)

Nel modello sono stati applicati i seguenti spettri di progetto in direzione orizzontale e verticale, definiti nel §8.12, considerando le masse partecipanti dei pesi propri e permanenti, ed il 20% delle masse corrispondenti ai carichi da traffico ($\psi_2 = 0,2$ valore quasi permanente definito dalla normativa).

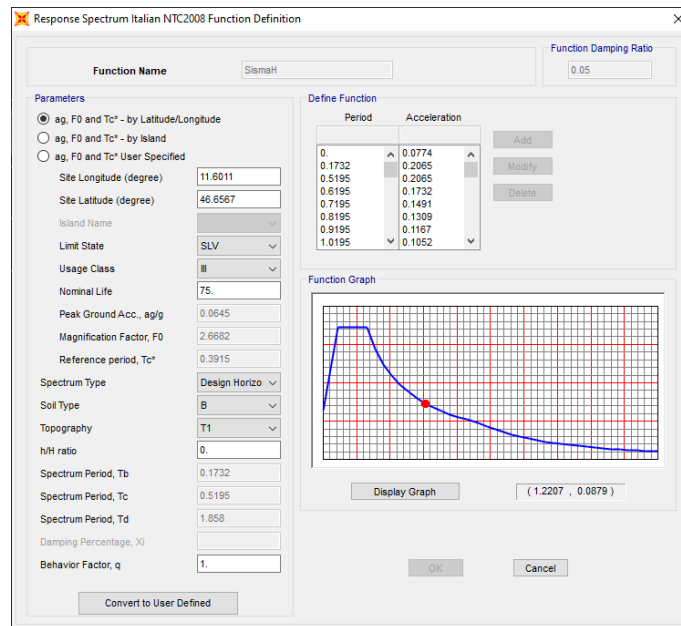


Fig. 46 Modello FEM: Componente orizzontale dello spettro di risposta

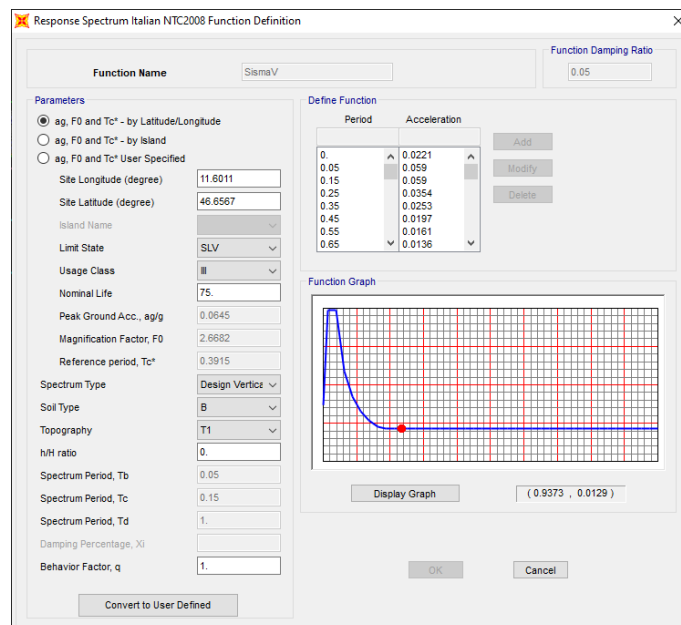


Fig. 47 Modello FEM: Componente verticale dello spettro di risposta

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 48 di 111
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m						

10.2.11 Deragliamento

L'azione dovuta al deragliamento dei treni si applica tramite un carico mobile che transita nella posizione prevista dalla normativa e illustrato al § 8.13.

I carichi mobili che rappresentano i due casi di deragliamento sono illustrati di seguito.

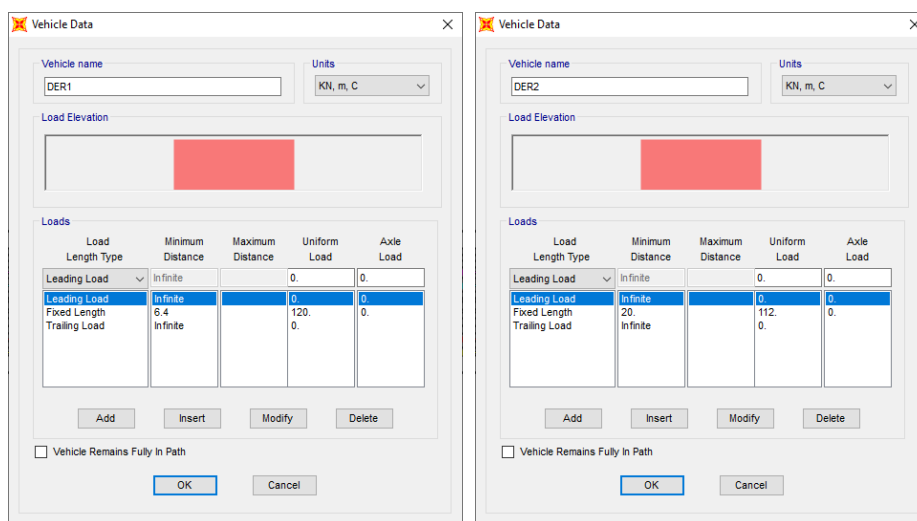


Fig. 48 Modello FEM – deragliamento: carichi mobili

I carichi mobili nel modello FEM sono applicati su dei "path" appositamente definiti e illustrati in Fig. 49.

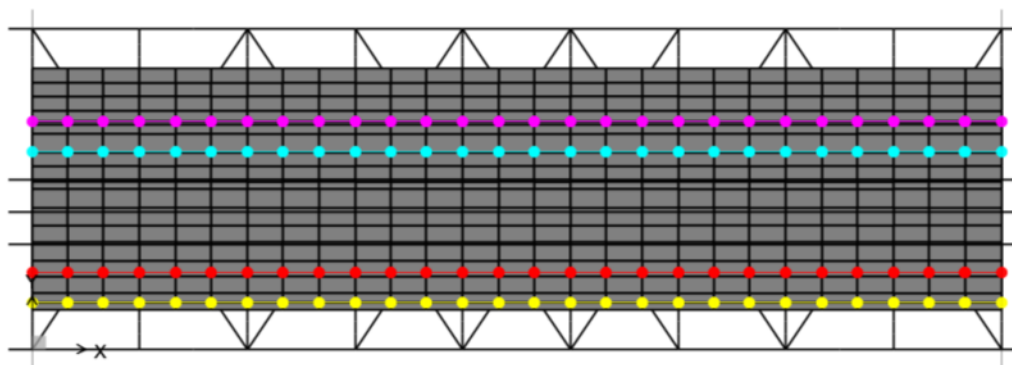


Fig. 49 Modello FEM – deragliamento: path

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 49 di 111

10.3 FREQUENZE E MODI DI VIBRARE DELLA STRUTTURA

La tabella seguente riassume i primi 20 modi di vibrare della struttura e le relative masse partecipanti.

La prima frequenza nel piano verticale risulta $f = 5,38$ Hz che corrisponde ad un periodo $T = 0,19$ sec.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios											
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Hz	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
MODAL	Mode	1	0.19	5.38	0.09	0.00	0.68	0.09	0.00	0.68	
MODAL	Mode	2	0.12	8.14	0.00	0.64	0.00	0.09	0.64	0.68	
MODAL	Mode	3	0.10	9.69	0.00	0.16	0.00	0.10	0.81	0.68	
MODAL	Mode	4	0.09	10.65	0.78	0.00	0.06	0.88	0.81	0.74	
MODAL	Mode	5	0.06	16.72	0.00	0.00	0.00	0.88	0.81	0.74	
MODAL	Mode	6	0.05	20.17	0.01	0.00	0.01	0.88	0.81	0.75	
MODAL	Mode	7	0.04	23.25	0.00	0.01	0.13	0.88	0.82	0.88	
MODAL	Mode	8	0.04	26.69	0.00	0.00	0.00	0.88	0.82	0.88	
MODAL	Mode	9	0.04	27.30	0.00	0.01	0.00	0.89	0.83	0.88	
MODAL	Mode	10	0.04	28.41	0.00	0.02	0.00	0.89	0.85	0.88	
MODAL	Mode	11	0.03	32.97	0.08	0.00	0.00	0.97	0.85	0.89	
MODAL	Mode	12	0.03	33.20	0.00	0.00	0.00	0.97	0.86	0.89	
MODAL	Mode	13	0.03	33.90	0.00	0.00	0.00	0.97	0.86	0.89	
MODAL	Mode	14	0.03	35.55	0.00	0.07	0.02	0.97	0.93	0.91	
MODAL	Mode	15	0.03	35.73	0.00	0.03	0.00	0.97	0.95	0.91	
MODAL	Mode	16	0.03	39.22	0.00	0.00	0.00	0.97	0.95	0.91	
MODAL	Mode	17	0.02	40.06	0.00	0.01	0.00	0.97	0.96	0.91	
MODAL	Mode	18	0.02	42.26	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.91	
MODAL	Mode	19	0.02	42.33	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.91	
MODAL	Mode	20	0.02	43.77	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.91	


 Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.18584; f = 5.38108



Fig. 50 Modello FEM – analisi modale: modo n°1 (verticale)

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 50 di 111

10.4 VERIFICA DELLE TRAVI PRINCIPALI

Come già specificato al §7.1, la verifica delle travi principali viene effettuata calcolando le tensioni nella sezione lorda e verificando la stabilità degli elementi compressi tramite il procedimento descritto nelle istruzioni CNR 10011.

10.4.1 Sezioni

Le travi principali sono costituite da una sezione a doppio T e sono di due tipologie:

- TS 2800x750x40x24
- TS 2800x750x60x24

Si riportano di seguito le caratteristiche geometrico-inerziali delle sezioni.

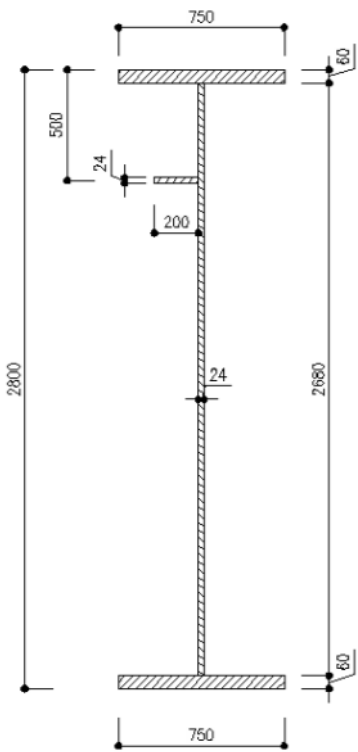
<i>Trave Principale tipo 1: TS 2800x750x60x24</i>				
	Altezza totale	H	2800	mm
	Larghezza Piatt. sup.	$b_{p,sup}$	750	mm
	Spessore Piatt. sup.	$t_{p,sup}$	60	mm
	Larghezza Piatt. inf.	$b_{p,inf}$	750	mm
	Spessore Piatt. inf.	$t_{p,inf}$	60	mm
	Altezza anima	h_w	2680	mm
	Spessore anima	t_w	24	mm
	Larghezza Rib long.	b_{rib}	200	mm
	Spessore Rib long.	t_{rib}	24	mm
	Distanza Rib da bordo inf.	y_{rib}	2300	mm
	Area	A	159120	mm ²
	Baricentro	y_G	1427	mm
	Inerzia	J_x	2,11E+11	mm ⁴
	Modulo di resistenza (sup.)	$W_{x,sup}$	1,54E+08	mm ³
Modulo di resistenza (inf.)	$W_{x,inf}$	1,48E+08	mm ³	

Fig. 51 Trave principale tipo 1: caratteristiche geometriche

APPALTATORE:	webuild  Implenia 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	51 di 111

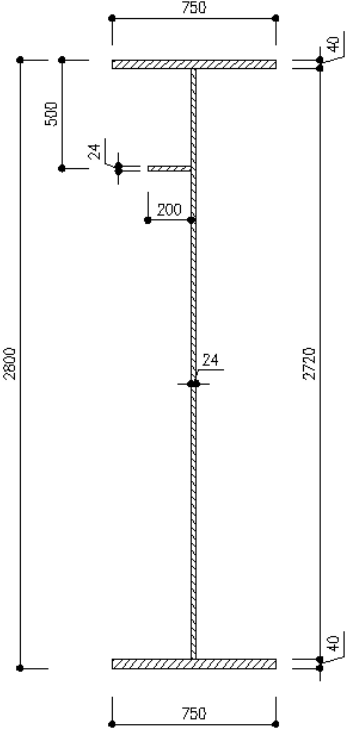
<i>Trave Principale tipo 2: TS 2800x750x40x24</i>				
	Altezza totale	H	2800	mm
	Larghezza Piatt. sup.	$b_{p,sup}$	750	mm
	Spessore Piatt. sup.	$t_{p,sup}$	40	mm
	Larghezza Piatt. inf.	$b_{p,inf}$	750	mm
	Spessore Piatt. inf.	$t_{p,inf}$	40	mm
	Altezza anima	h_w	2720	mm
	Spessore anima	t_w	24	mm
	Larghezza Rib long.	b_{rib}	200	mm
	Spessore Rib long.	t_{rib}	24	mm
	Distanza Rib da bordo inf.	y_{rib}	2300	mm
	Area	A	130080	mm ²
	Baricentro	y_G	1433.2	mm
	Inerzia	J_x	1.583E+11	mm ⁴
	Modulo di resistenza (sup.)	$W_{x,sup}$	1.158E+08	mm ³
Modulo di resistenza (inf.)	$W_{x,inf}$	1.104E+08	mm ³	

Fig. 52 Trave principale tipo 2: caratteristiche geometriche

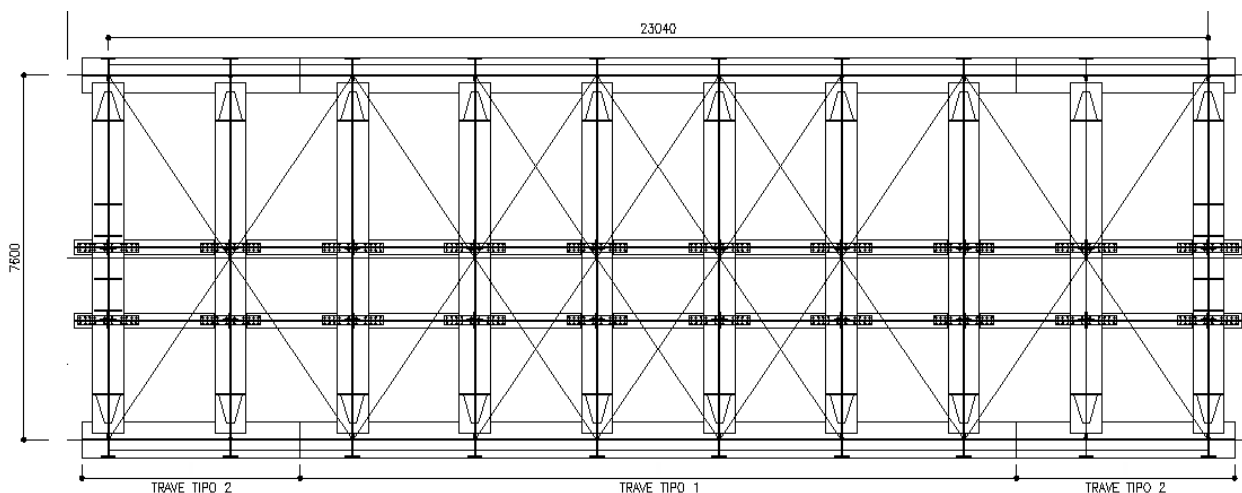


Fig. 53 Pianta: travi principali (tipo 1 e tipo 2)

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>VI0000</td> <td>A</td> <td>52 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	VI0000	A	52 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	VI0000	A	52 di 111								

10.4.2 Parametri di sollecitazione.

Si riportano di seguito i diagrammi di sollecitazione (N, V, M) ottenuti dall'involuppo delle combinazioni SLU relativi alle travi principali

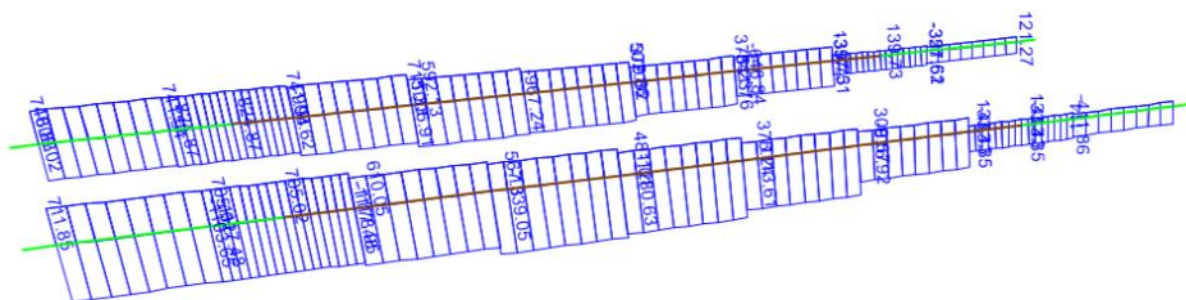


Fig. 54 Travi principali: diagramma di sollecitazione assiale (N) – involucro SLU

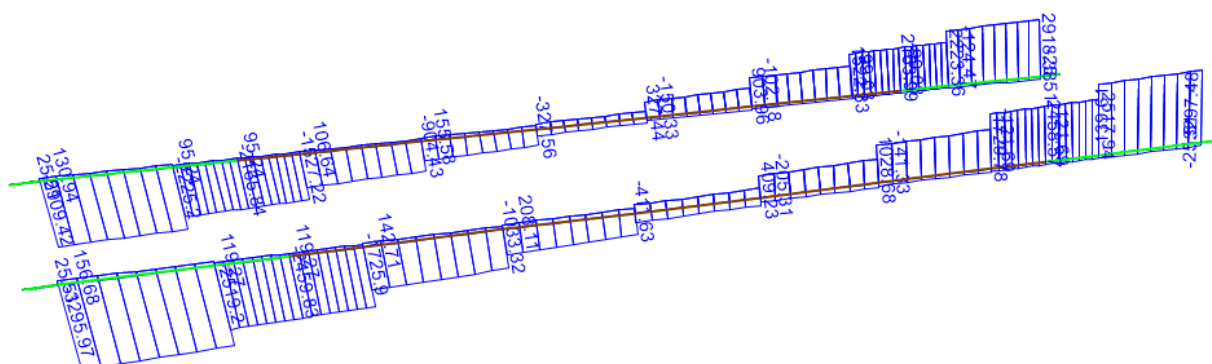


Fig. 55 Travi principali: diagramma di taglio (V) – involucro SLU

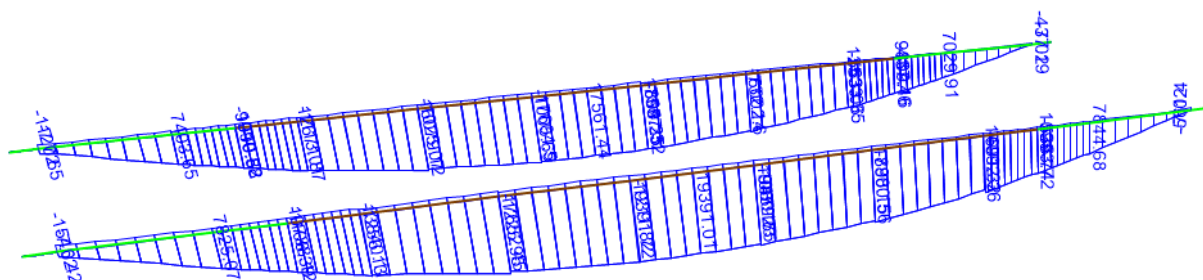


Fig. 56 Travi principali: diagramma di momento flettente (M) – involucro SLU

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 53 di 111

10.4.3 Calcolo delle tensioni

Le verifiche di resistenza delle travi principali si conduce confrontando le tensioni normali prodotte dal momento flettente e dallo sforzo normale con la tensione limite definita dalla normativa come f_Y / γ_{M0} .

In corrispondenza della sezione di attacco dell'anima alla piattabanda si calcola inoltre la tensione ideale che tiene conto delle tensioni tangenziali e si confronta la tensione ideale di Von Mises con la tensione limite f_Y / γ_{M0} .

Gli effetti delle sollecitazioni nelle varie configurazioni sono stati sommati in termini di tensioni, tenendo conto del diverso modulo elastico della soletta in calcestruzzo nelle varie fasi (§ 10.1).

Le tensioni σ e τ sono calcolate nei punti più significativi della sezione, come indicato in Fig. 57.

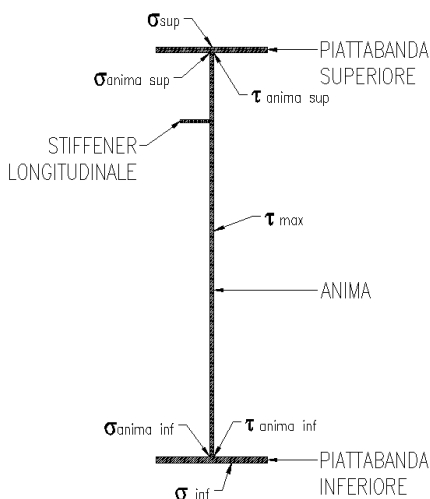


Fig. 57 Punti di calcolo delle tensioni nella trave principale

FR.	TRAVE1										TRAVE 2									
	$\sigma_{(sup)}$ (N/mm ²)		$\sigma_{(inf)}$ (N/mm ²)		τ_{MAX} (N/mm ²)		τ_{MEDIO} (N/mm ²)		$\sigma_{id(an.sup)}$ (N/mm ²)	$\sigma_{id(an.inf)}$ (N/mm ²)	$\sigma_{(sup)}$ (N/mm ²)	$\sigma_{(inf)}$ (N/mm ²)		τ_{MAX} (N/mm ²)		τ_{MEDIO} (N/mm ²)		$\sigma_{id(an.sup)}$ (N/mm ²)	$\sigma_{id(an.inf)}$ (N/mm ²)	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	max	max	min	max	min	max	min	max	min	max	max
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	14	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0
2	8	-84	95	-23	58	17	53	16	93	97	15	4	-79	89	-16	51	17	46	15	83
3	8	-109	111	-2	44	14	40	13	108	113	16	-6	-96	112	-12	39	14	35	12	96
4	-12	-97	101	12	42	13	40	12	105	109	17	-17	-86	96	6	37	13	35	12	93
5	-24	-121	129	23	30	8	28	8	122	123	18	-28	-111	115	21	26	8	24	8	108
6	-35	-134	139	28	18	4	17	4	131	129	19	-34	-122	124	31	15	4	15	3	116
7	-39	-134	137	34	7	1	7	1	130	126	20	-39	-122	122	35	6	1	5	1	115
8	-35	-134	137	30	18	4	17	4	131	127	21	-35	-122	121	32	15	4	14	3	116
9	-25	-121	126	26	30	8	28	8	122	121	22	-28	-110	111	24	26	8	24	8	108
10	-12	-96	99	18	42	13	40	12	105	106	23	-17	-86	87	13	37	12	35	12	92
11	9	-106	109	7	44	14	40	13	108	109	24	-6	-96	99	-5	39	13	35	12	95
12	3	-81	91	-8	58	17	52	16	92	93	25	1	-79	76	-7	51	17	46	15	81
13	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	26	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0

Fig. 58 Travi Principali – tensioni – Combinazioni SLU

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 54 di 111

Come si evince dalle tabelle riportate, le tensioni sono sempre inferiori al limite ($f_y / \gamma_{M0} = 345 / 1,05 = 328 \text{ N/mm}^2$ per la piattabanda tipo 2 e $f_y / \gamma_{M0} = 335 / 1,05 = 319 \text{ N/mm}^2$ per la piattabanda tipo 1). Il valore massimo si ottiene in corrispondenza del frame 6 nel quale si calcola una tensione massima sulla piattabanda inferiore di 139 N/mm^2 ; pertanto la verifica è soddisfatta ($\Delta = 0,43$).

L'andamento delle tensioni sulle piattabande superiori ed inferiori delle travi è rappresentato nei grafici in Fig. 59 dove le linee rosse e verdi rappresentano le tensioni calcolate sul filo superiore ed inferiore delle due travi principali

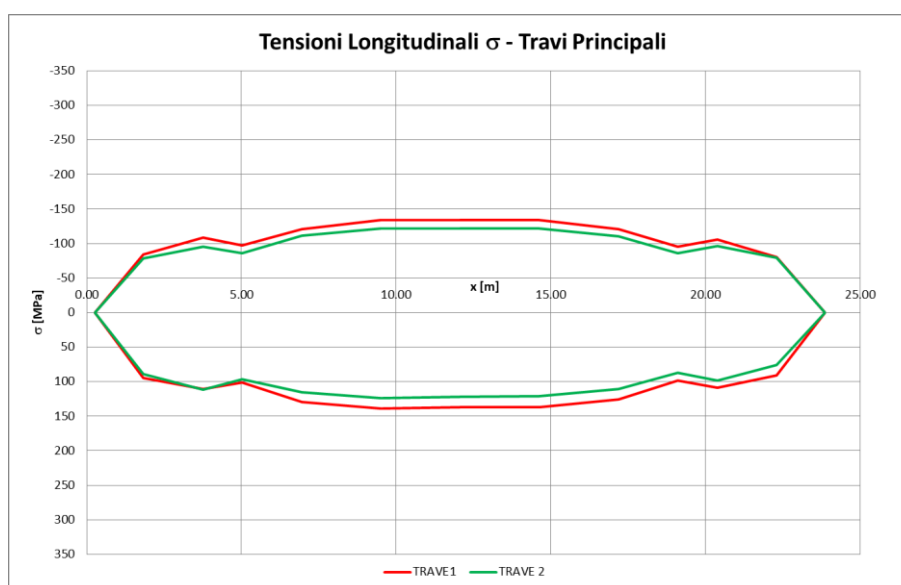


Fig. 59 Andamento delle tensioni longitudinali sulla trave principale – Combinazioni SLU

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandatanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 55 di 111

La tensione massima calcolata secondo la combinazione di carico Rara risulta pari a 87 MPa (trazione sulla piattabanda inferiore del beam 6 nel modello FEM).

FR.	TRAVE1										TRAVE 2													
	$\sigma_{(sup)}$ (N/mm ²)		$\sigma_{(inf)}$ (N/mm ²)		τ_{MAX} (N/mm ²)		τ_{MEDIO} (N/mm ²)		$\sigma_{id(an.sup)}$ (N/mm ²)		$\sigma_{id(an.inf)}$ (N/mm ²)		$\sigma_{(sup)}$ (N/mm ²)		$\sigma_{(inf)}$ (N/mm ²)		τ_{MAX} (N/mm ²)		τ_{MEDIO} (N/mm ²)		$\sigma_{id(an.sup)}$ (N/mm ²)		$\sigma_{id(an.inf)}$ (N/mm ²)	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	-57	54	0	37	0	33	0	58	61	15	0	-45	59	0	32	0	29	0	52	0	57	0	
3	0	-69	67	0	28	0	25	0	68	70	16	0	-59	72	0	25	0	22	0	61	0	67	0	
4	0	-61	63	0	26	0	25	0	66	68	17	0	-55	60	0	23	0	22	0	59	0	63	0	
5	0	-75	81	0	19	0	17	0	76	76	18	0	-70	72	0	17	0	16	0	69	0	71	0	
6	0	-83	87	0	11	0	10	0	82	80	19	0	-77	78	0	10	0	9	0	74	0	74	0	
7	0	-84	86	0	4	0	4	0	81	78	20	0	-77	76	0	3	0	3	0	73	0	73	0	
8	0	-84	86	0	11	0	10	0	82	79	21	0	-77	76	0	10	0	9	0	74	0	73	0	
9	0	-76	79	0	19	0	17	0	76	75	22	0	-70	70	0	16	0	15	0	68	0	69	0	
10	0	-60	62	0	26	0	25	0	66	66	23	0	-54	56	0	23	0	22	0	59	0	59	0	
11	0	-68	67	0	28	0	25	0	68	68	24	0	-59	64	0	25	0	22	0	60	0	61	0	
12	0	-54	53	0	37	0	33	0	58	59	25	0	-46	52	0	33	0	29	0	52	0	53	0	
13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	26	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fig. 60 Travi Principali – tensioni – Combinazioni SLE – Rara

L'andamento delle tensioni sulle piattabande delle travi principali, calcolate secondo la combinazione SLE rara, è rappresentato nei grafici seguenti.

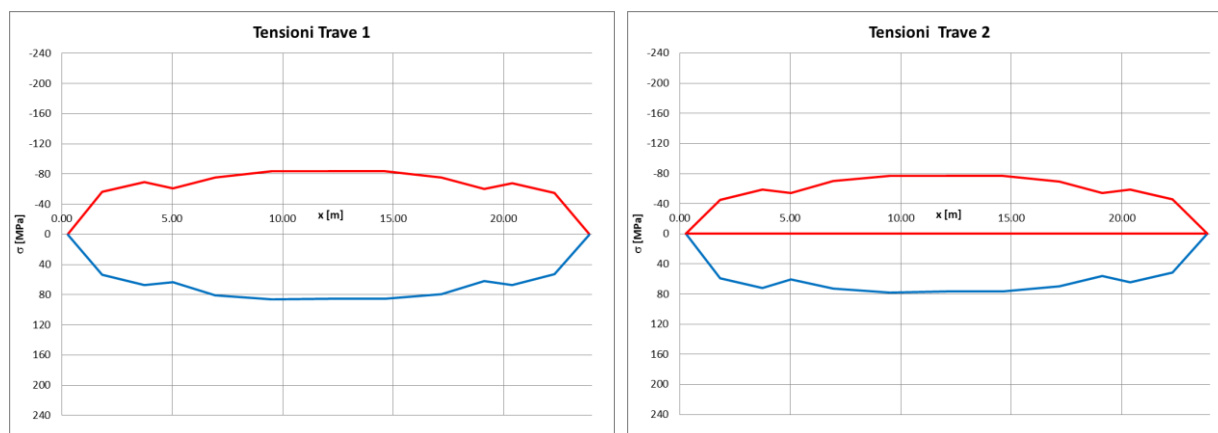


Fig. 61 Andamento delle tensioni longitudinali sulla trave principale – Combinazioni SLE - Rara

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 56 di 111

10.4.4 Verifica di stabilità dei pannelli d'anima

Si esegue la verifica dell'imbozzamento dei pannelli d'anima delle travi principali, secondo la CNR – 10011/97 che impone la seguente condizione:

$$\frac{\sigma_{cr,id}}{\sigma_{id}} \geq \beta \cdot \nu$$

Dove:

- σ_1 massima tensione di compressione sul pannello
- $\beta = \frac{\sigma_N + 0,8 \cdot \sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M}$ se il rapporto geometrico $\alpha = a/h \leq 1.5$
- $\beta = 0,8$ se il rapporto geometrico $\alpha = a/h > 1.5$
- $\nu = 1,0$ nel metodo agli stati limite qui adottato.

Nelle verifiche riassunte di seguito si assume il segno negativo per le tensioni di compressione.

FRAME	TRAVE 1						TRAVE 2					
	RI PANN1			RI PANN2			RI PANN1			RI PANN2		
	$\sigma_{cr,id}/\sigma_{id}$	$\beta\nu$	Check	$\sigma_{cr,id}/\sigma_{id}$	$\beta\nu$	Check	$\sigma_{cr,id}/\sigma_{id}$	$\beta\nu$	Check	$\sigma_{cr,id}/\sigma_{id}$	$\beta\nu$	Check
1	524.30	0.80	ok	521.57	0.80	ok	524.30	0.80	ok	521.19	0.80	ok
2	3.17	1.00	ok	2.97	0.90	ok	3.58	1.00	ok	3.60	0.90	ok
3	3.00	1.00	ok	3.70	0.80	ok	3.37	1.00	ok	4.22	0.80	ok
4	3.13	1.00	ok	3.79	0.80	ok	3.54	1.00	ok	4.33	0.80	ok
5	2.83	1.00	ok	3.67	0.80	ok	3.19	1.00	ok	4.18	0.80	ok
6	2.69	1.00	ok	3.71	0.80	ok	3.03	1.00	ok	4.22	0.80	ok
7	2.72	1.00	ok	3.83	0.80	ok	3.07	1.00	ok	4.35	0.80	ok
8	2.69	1.00	ok	3.71	0.80	ok	3.03	1.00	ok	4.21	0.80	ok
9	2.83	1.00	ok	3.67	0.80	ok	3.21	1.00	ok	4.18	0.80	ok
10	3.13	1.00	ok	3.80	0.80	ok	3.56	1.00	ok	4.33	0.80	ok
11	3.01	1.00	ok	3.70	0.80	ok	3.41	1.00	ok	4.20	0.80	ok
12	3.18	1.00	ok	3.25	0.90	ok	3.61	1.00	ok	3.98	1.00	ok
13	524.30	0.80	ok	521.57	0.80	ok	524.30	0.80	ok	521.19	0.80	ok

Fig. 62 Verifica ad instabilità dei pannelli d'anima

Come si evince dalle tabelle precedenti, la verifica risulta sempre soddisfatta.

Nello specifico risulta:

- Tensione massima sul bordo superiore del pannello d'anima inferiore $\sigma_1 = -130$ MPa
- Tensione sul bordo inferiore del pannello d'anima $\sigma_2 = -88$ MPa
- $\alpha = a / h = 5,82$ (rapporto tra lunghezza e altezza del pannello d'anima)
- $\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 0,675$

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	57 di 111

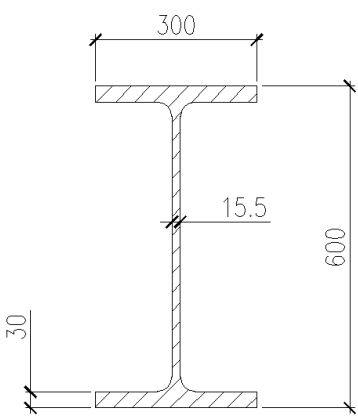
- $k_{\sigma} = 4,7$ e $k_{\tau} = 4,37$
- $\sigma_{cr,0} = 186200 \cdot (t/h)^2 = 554$ MPa
- $\sigma_{cr} = k_{\sigma} \cdot \sigma_{cr,0} = 2622$ MPa $> 0,8 \times 355 = 284$ MPa e $\tau_{cr} = k_{\tau} \cdot \sigma_{cr,0} = 2419$ MPa
- $\sigma_{cr,red} = f_d \cdot \frac{20 + \sqrt{25 - 15 \cdot (f_y / \sigma_{cr,id})^2}}{25 + (f_y / \sigma_{cr,id})^2} = 354$ MPa
- $\sigma_{id} = 132$ MPa
- $\frac{\sigma_{cr,id}}{\sigma_{id}} = 2,69 \geq \beta \cdot \nu = 1,0$ → verifica soddisfatta

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 58 di 111

10.5 VERIFICA DELLE LONGHERINE

10.5.1 Sezione

Le longherine sono costituite da un profilo laminato HEB600 di lunghezza circa 2,5 m, bullonato ai traversi tramite una coppia di angolari.

	Materiale:	[N/mm ²]		
	f_y	355	ϵ	0.81
	f_u	510	E	206000
	Coefficienti di sicurezza:	[R.1.1]		
	γ_{M0}	1.05	γ_{M2}	1.25
	γ_{M1}	1.10		
	Proprietà della sezione lorda:	HE 600 B	[mm]	
	h	600	A x10 ²	270
	b_{tf}	300	I_y x10 ⁴	171000
	t_w	15.5	I_z x10 ⁴	13530
	t_{tf}	30	$W_{el,y}$ x10 ³	5701
	r	27	$W_{pl,y}$ x10 ³	6425
	Z_G	300	$W_{el,z}$ x10 ³	902
			$W_{pl,z}$ x10 ³	1391

10.5.2 Parametri di sollecitazione

Le sollecitazioni nelle longherine sono prevalentemente di tipo assiale, derivanti dal comportamento globale della struttura, pertanto, per la verifica, si combinano le sollecitazioni massime estratte dal modello FEM globale. In Fig. 63 si riporta il diagramma delle sollecitazioni assiali delle longherine ottenuto dall'involuppo delle combinazioni di carico agli SLU.

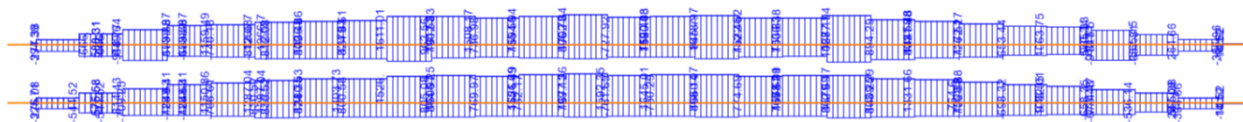


Fig. 63 Modello FEM globale – diagramma delle sollecitazioni assiali nelle longherine

Per quanto riguarda le sollecitazioni flessionali verticali dovute al transito dei treni, si utilizza un modello FEM semplificato che rappresenta le longherine come travi continue trascurando, a favore di sicurezza, la presenza della soletta.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 59 di 111

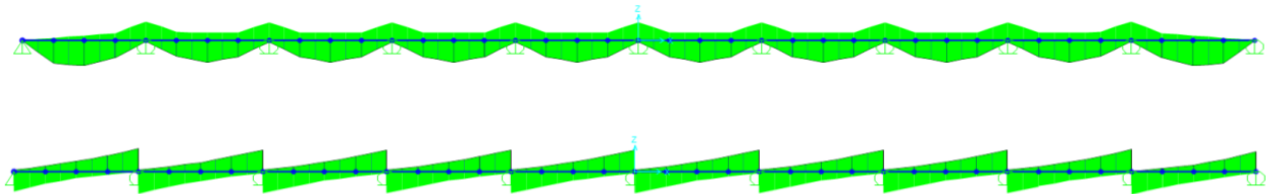


Fig. 64 Longherina: diagrammi di momento flettente e taglio dovuti al transito del treno SW2

Pertanto si verifica la sezione per resistere alle seguenti sollecitazioni SLU:

- Compressione $N_{Ed} = -1028$ kN
- Trazione $N_{Ed} = +1702$ kN
- Momento flettente in campata $M = 150$ kNm
- Momento flettente in appoggio $M = -125$ kNm
- Taglio $V = 446$ kN

10.5.3 Calcolo delle tensioni

Sebbene la sezione risulti in classe 1, si riportano di seguito i valori di tensione calcolati in campo elastico, trascurando la resistenza plastica della sezione (classe 3).

- Tensione nella piattabanda superiore $\sigma = +37$ MPa
- Tensione nella piattabanda inferiore $\sigma = +90$ MPa
- Tensione ideale anima - piattabanda $\sigma_{id} = 176$ MPa
- Tensione tagliante massima $\tau = 6454$ MPa

Le tensioni risultano abbondantemente inferiori al limite ($f_y = 345/1,05 = 328$ MPa $\rightarrow \Delta = 0,35$) pertanto la verifica è soddisfatta.

Poiché la sezione risulta in classe 1, la verifica di stabilità del pannello d'anima è implicitamente soddisfatta.

10.5.4 Verifica del giunto bullonato

La longherina è collegata al traverso tramite due angolari bullonati in anima ed un coprigiunto sulla piattabanda superiore del profilo che crea la continuità con la longherina adiacente.

Per la verifica del giunto si calcolano le tensioni nella sezione A-A in Fig. 65 al fine di determinare la quota parte di tensione che migra nel coprigiunto superiore e quella che interessa il giunto d'anima.

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	60 di 111

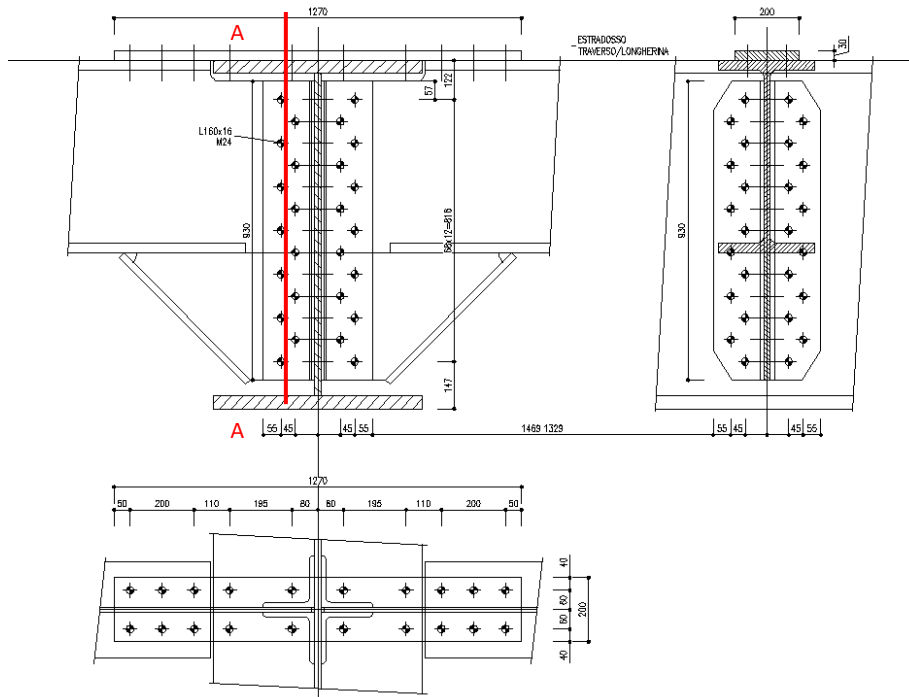


Fig. 65 Giunto longherina – trasverso

Nel coprigiunto superiore di dimensioni 200mm x 30mm risulta:

- Forza assiale $N_{Ed} = 801 \text{ kN}$
- Bulloni M24: n°6
- Area netta = $(200 \times 30 - 2 \times 25 \times 30) = 4.500 \text{ mm}^2$
- Distanze dei fori: $e_1 = 50 \text{ mm}$, $p_1 = 100 \text{ mm}$, $e_2 = 40 \text{ mm}$, $p_2 = 120 \text{ mm}$
- Forza massima tagliante sul singolo bullone $F_{Ed,b} = 134 \text{ kN}$
- Resistenza a trazione del coprigiunto: $N_{t,Rd} = 1652 \text{ kN} > N_{Ed}$ → $\Delta = 0,48$ verifica soddisfatta
- Resistenza a rifollamento del piatto $F_{b,Rd,p} = 490 \text{ kN} > F_{Ed,b}$ → $\Delta = 0,27$ verifica soddisfatta
- Resistenza a taglio del singolo bullone $F_{V,Rd} = 174 \text{ kN} > F_{Ed,b}$ → $\Delta = 0,77$ verifica soddisfatta

Nel giunto d'anima risulta:

- Forza assiale $N_{Ed} = 907 \text{ kN}$
- Momento flettente $M_{Ed} = -48 \text{ kNm}$
- Bulloni M24: n°13
- Area anima netta = 11.702 mm^2
- Inerzia della sezione d'anima netta $J = 8,38 \times 10^8 \text{ mm}^4$
- Angolari L160x16

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 61 di 111

- Forza massima sul singolo bullone lungo l'asse del profilo $F_{Ed,H} = 93$ kN
- Forza massima sul singolo bullone perpendicolare all'asse del profilo $F_{Ed,V} = 36$ kN
- Forza massima sul bullone maggiormente sollecitato $F_{Ed,b} = 99$ kN
- N° di sezioni di taglio dei bulloni: 2
- Resistenza a taglio del bullone $F_{V,Rd} = 174$ kN $> F_{Ed,b} / 2 = 50$ kN $\rightarrow \Delta = 0,28$ verifica soddisfatta
- Resistenza a rifollamento dell'anima per la componente della forza longitudinale (in asse al profilo):
 $F_{b,Rd,H} = 213$ kN $> F_{Ed,H} = 93$ kN $\rightarrow \Delta = 0,44$ verifica soddisfatta
- Resistenza a rifollamento per la componente della forza verticale (perpendicolare all'asse del profilo): $F_{b,Rd,V} = 288$ kN $> F_{Ed,V} = 36$ kN $\rightarrow \Delta = 0,13$ verifica soddisfatta

Lo spessore dei due angolari ($t = 16$ mm) è maggiore dello spessore dell'anima ($t=15,5$ mm) e le distanze dei fori dai bordi sono uguali o maggiori delle distanze relative all'anima, pertanto la verifica a rifollamento è implicitamente soddisfatta.

I bulloni che collegano gli angolari all'anima del traverso sono soggetti a taglio e trazione, pertanto la verifica risulta:

- Forza di trazione sul bullone maggiormente sollecitato: $F_{Ed,t,b} = 93/2 = 47$ kN
- Forza di taglio sul bullone $F_{Ed,V,b} = 18$ kN (una sezione resistente)
- Poiché il bullone risulta precaricato con una forza $F_{p,C} = 131$ kN (maggiore della forza sollecitante $F_{Ed,t,b} = 47$ kN), la trazione applicata determina una riduzione della compressione nella zona precaricata (area pari a circa 10 volte l'area del bullone), pertanto la tensione nel gambo della vite risulta pari a $131 \times 1000 / 353 + 47 \times 1000 / (353 \times 10) = 371 + 13 = 384$ MPa che corrisponde ad una forza di trazione totale $F_{t,Ed} = 384 \times 353 / 1000 = 136$ kN $< F_{t,Rd} = 203$ $\rightarrow \Delta = 0,67$ verifica soddisfatta
- La verifica combinata risulta: $18/174 + 136/(1,4 \times 203) = 0,58 < 1,0$ \rightarrow verifica soddisfatta

Infine si verifica l'angolare per resistere a flessione, pertanto risulta:

- La forza totale di trazione sui bulloni risulta $F_{Ed,t,b}$ risulta pari a $907/2 = 454$ kN
- Distanza del bullone dal bordo irrigidito $e = 28$ mm
- Momento flettente $M = 454 \times 0,028 = 12,7$ kNm
- Modulo di resistenza dell'angolare $W_{el} = 1/6 \times 930 \times 16^2 = 39.680$ mm³
- Tensione nell'angolare $\sigma = M / W = 320$ MPa $< 355/1,05 = 338$ MPa $\rightarrow \Delta = 0,95$ verifica soddisfatta

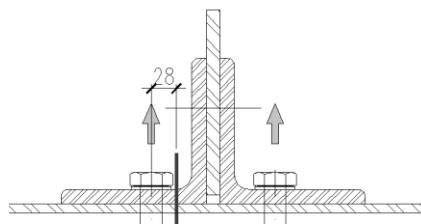


Fig. 66 Giunto longherina – traverso: pianta

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 62 di 111

10.6 VERIFICA DEI TRAVERSI

10.6.1 Sezione

I traversi sono costituiti da composti saldati a doppio T di altezza pari a 1085 mm con gousset alle estremità, collegati alle travi principali tramite un giunto bullonato d'anima e coprigiunti della piattabanda inferiore.

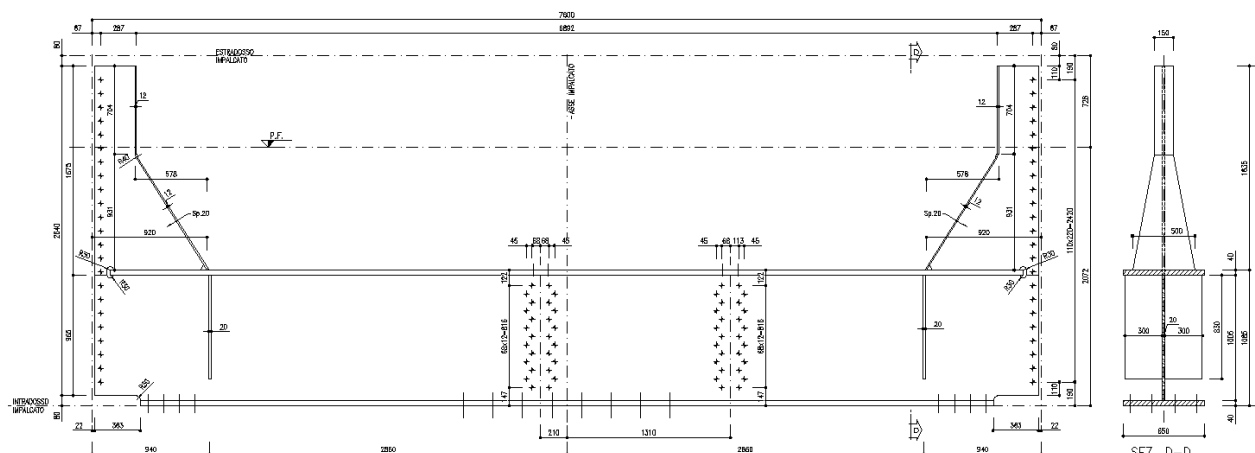


Fig. 67 Traverso Tipico

10.6.2 Parametri di sollecitazione

Si riportano di seguito i diagrammi di sollecitazione (N, V, M) ottenuti dall'involuppo delle combinazioni SLU relative ai traversi.

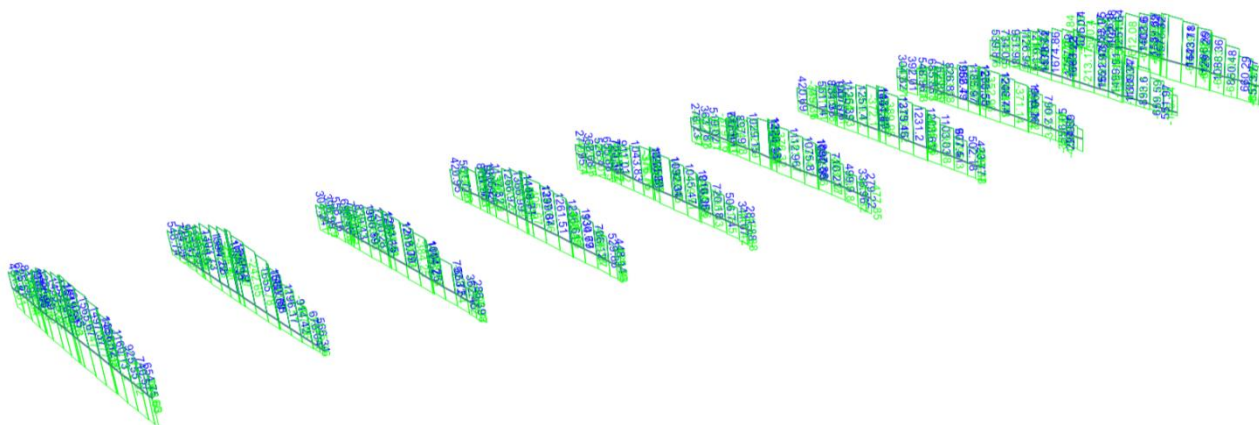


Fig. 68 Traversi: diagramma di sollecitazione assiale (N) – involuppo SLU

APPALTATORE:	webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:		
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IB0U 1BEZZ CL VI0000 A 63 di 111
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		

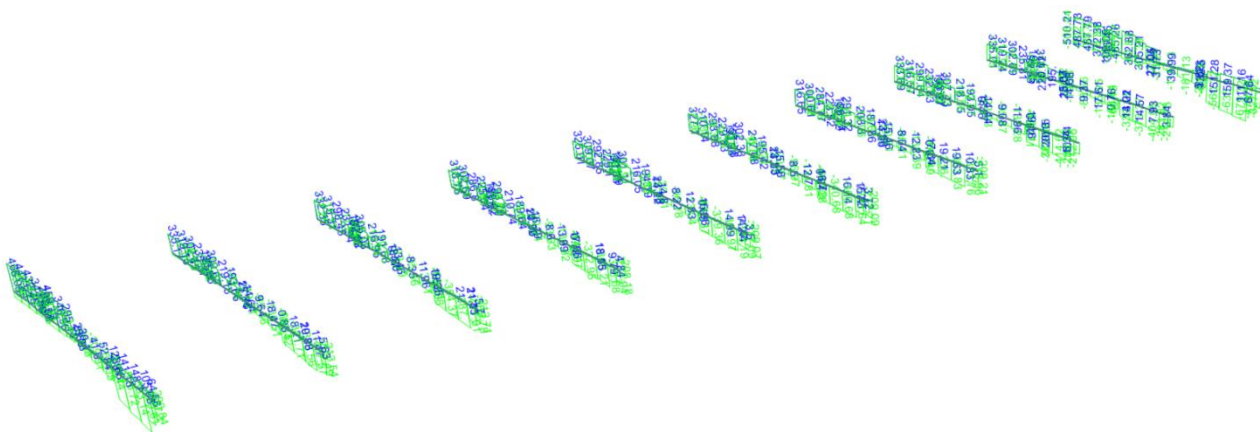


Fig. 69 Traversi: diagramma di taglio (V) – involucro SLU

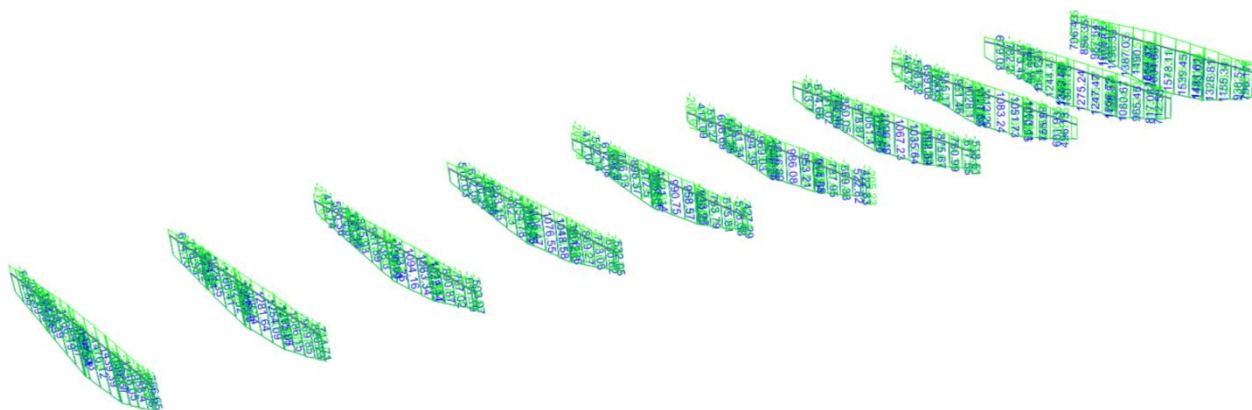


Fig. 70 Traversi: diagramma di momento flettente (M) – involucro SLU

I parametri di sollecitazione massimi estratti dal modello FEM globale, calcolati agli SLU, sono i seguenti:

- Trazione massima SLU $N_{t,Ed} = 1700$ kN
- Compressione massima SLU $N_{c,Ed} = -771$ kN
- Momento flettente massimo $M_{Ed} = 1545$ kNm
- Taglio massimo $V_{Ed} = 652$ kN

10.6.3 Calcolo delle tensioni

A favore di sicurezza, si verifica la sezione del traverso per resistere alle sollecitazioni massime, sebbene non concomitanti. Sebbene la sezione risulti in classe 2, si riportano di seguito le tensioni calcolate in campo elastico (classe 3), a favore di sicurezza, trascurando la resistenza in campo plastico.

- Tensione nella piattabanda superiore $\sigma = -63$ MPa (per massima compressione)
- Tensione nella piattabanda inferiore $\sigma = -76$ MPa (per massima trazione)

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 64 di 111

- Tensione ideale anima - piattabanda inferiore $\sigma = 87$ MPa
- Tensione tagliante massima $\tau = 33$ MPa

Le tensioni risultano abbondantemente sotto al limite ($f_y = 345/1,05 = 328$ MPa $\rightarrow \Delta = 0,27$) pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Poiché la sezione è in classe 2, la verifica di stabilità del pannello d'anima è implicitamente soddisfatta.

10.6.4 Verifica del giunto bullonato

Il traverso è collegato alle travi principali tramite due angolari bullonati in anima ed una coppia di coprigiunti sulla piattabanda inferiore del profilo.

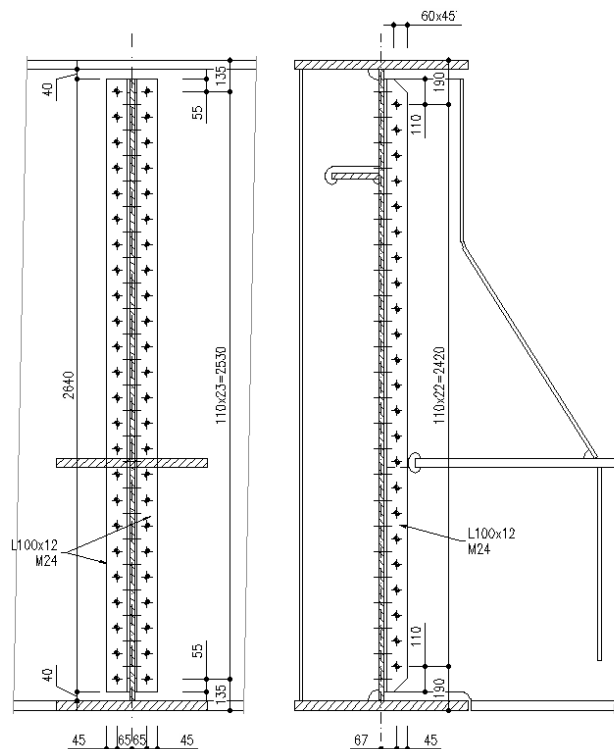


Fig. 71 Traverso Tipico: giunto bullonato traverso-trave

I parametri di sollecitazione massimi estratti dal modello FEM globale, calcolati agli SLU, sono i seguenti:

- Sollecitazione assiale massima (trazione e compressione) $N = +/-785$ kN
- Momento flettente massimo $M = +/-427$ kNm
- Taglio massimo $V = 1125$ kN

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	65 di 111

La verifica del giunto d'anima risulta:

- Bulloni M23: n°24
- Area anima netta = 41.300 mm²
- Inerzia della sezione d'anima netta $J = 2,41 \times 10^{10}$ mm⁴
- Angolari L100x12
- Forza massima sul singolo bullone lungo l'asse del profilo $F_{Ed,H} = 76$ kN
- Forza massima sul singolo bullone perpendicolare all'asse del profilo $F_{Ed,V} = 49$ kN
- Forza massima sul bullone maggiormente sollecitato $F_{Ed,b} = 91$ kN
- N° di sezioni di taglio dei bulloni: 2
- Resistenza a taglio del bullone $F_{V,Rd} = 174$ kN > $F_{Ed,b} / 2 = 46$ kN → $\Delta = 0,26$ verifica soddisfatta
- Resistenza a rifollamento dell'anima per la componente della forza longitudinale (in asse al profilo):
 $F_{b,Rd,H} = 294$ kN > $F_{Ed,H} = 76$ kN → $\Delta = 0,26$ verifica soddisfatta
- Resistenza a rifollamento per la componente della forza verticale (perpendicolare all'asse del profilo): $F_{b,Rd,V} = 490$ kN > $F_{Ed,V} = 49$ kN → $\Delta = 0,10$ verifica soddisfatta

La somma degli spessori dei due angolari ($t = 12$ mm) è maggiore dello spessore dell'anima ($t = 20$ mm) e le distanze dei fori dai bordi sono uguali o maggiori delle distanze relative all'anima, pertanto la verifica a rifollamento è implicitamente soddisfatta.

I bulloni che collegano gli angolari all'anima del traverso sono soggetti a taglio e trazione, pertanto la verifica risulta:

- Forza di trazione sul bullone maggiormente sollecitato: $F_{Ed,t,b} = 76/2 = 38$ kN
- Forza di taglio sul bullone $F_{Ed,v,b} = 23$ kN (una sezione resistente)
- Poiché il bullone risulta precaricato con una forza $F_{p,C} = 131$ kN (maggiore della forza sollecitante $F_{Ed,t,b} = 38$ kN), la trazione applicata determina una riduzione della compressione nella zona precaricata (area pari a circa 10 volte l'area del bullone), pertanto la tensione nel gambo della vite risulta pari a $131 \times 1000 / 353 + 38 \times 1000 / (353 \times 10) = 371 + 11 = 382$ MPa che corrisponde ad una forza di trazione totale $F_{t,Ed} = 382 \times 353 / 1000 = 135$ kN < $F_{t,Rd} = 203$ → $\Delta = 0,66$ verifica soddisfatta
- La verifica combinata risulta: $23/174 + 135/(1,4 \times 203) = 0,61 < 1,0$ → verifica soddisfatta

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 66 di 111

10.7 VERIFICA DEI DIAGONALI DI CONTROVENTO

I diagonali di controvento inferiori sono costituiti da composti saldati a T, bullonati alle piattabande inferiori delle travi principali tramite delle piastre bullonate. Le aste di controvento sono di due tipologie:

- Controvento tipo 1: 240x24+100x24
- Controvento tipo 2: 240x30+100x30

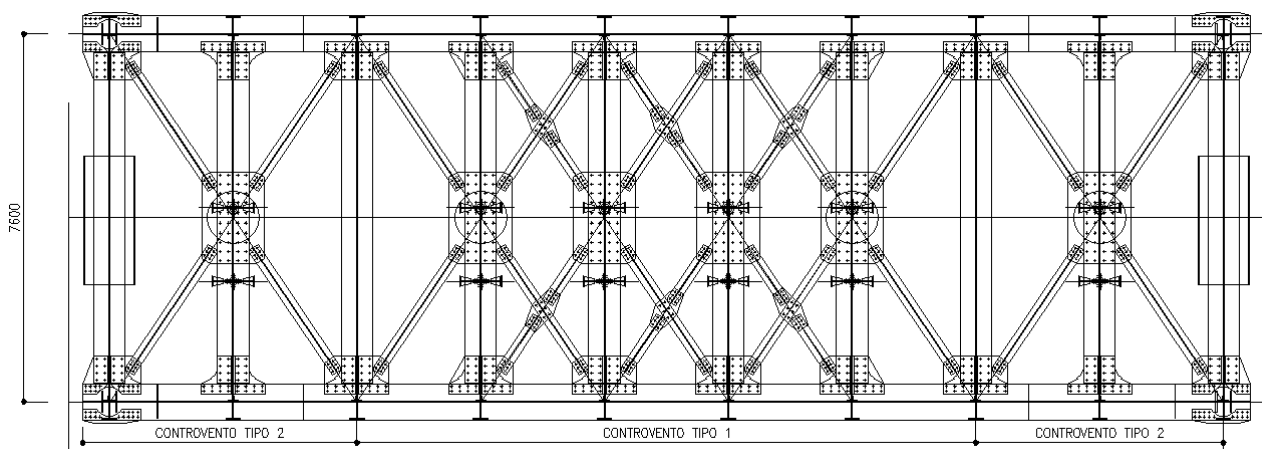


Fig. 72 Pianta di controvento

Si riassumono di seguito le verifiche di resistenza e stabilità dell'asta maggiormente sollecitata relativamente al profilo 240x24+100x24:

- Materiale: S355
- Area (lorda) = 8.160 mm²
- Sollecitazione assiale di compressione $N_{Ed} = - 439$ kN (Combinazione SLU)
- Sollecitazione assiale di trazione $N_{Ed} = + 835$ kN (Combinazione SLU)
- Trazione massima da combinazione sismica: $N_{Ed} = +231$ kN
- Compressione massima da combinazione sismica: $N_{Ed} = -80$ kN
- Bulloni M27 cl.8.8: n°6
- Area netta = 6.816 mm² (si considera foro di diametro 28 mm)
- Piastra di nodo spessore 30 mm
- Distanze dei fori: $e_1 = 60$ mm, $p_1 = 85$ mm, $e_2 = 60$ mm, $p_2 = 120$ mm
- Forza massima tagliante sul singolo bullone $F_{Ed} = 139$ kN
- Resistenza a rifollamento della piastra $F_{b,Rd,p} = 590$ kN > F_{Ed} → $\Delta = 0,24$ verifica soddisfatta
- Resistenza a rifollamento dell'angolare $F_{b,Rd,CV} = 472$ kN > F_{Ed} → $\Delta = 0,29$ verifica soddisfatta
- Resistenza a taglio del singolo bullone $F_{V,Rd} = 220$ kN > F_{Ed} → $\Delta = 0,63$ verifica soddisfatta

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	67 di 111

- Resistenza di calcolo a trazione $N_{t,Rd} = 2503 \text{ kN} > N_{Ed}$ $\rightarrow \Delta = 0,33$ verifica soddisfatta
- Lunghezza $L_{OY} = 3,0 \text{ m}$ $\rightarrow \lambda_Y = 103$
- Lunghezza $L_{OZ} = 0,8 \times 3,0 = 2,4 \text{ m}$ $\rightarrow \lambda_Z = 40$
- Resistenza all'instabilità $N_{b,Rd} = 970 \text{ kN} > N_{Ed}$ $\rightarrow \Delta = 0,45$ verifica soddisfatta

Si riassumono di seguito le verifiche di resistenza e stabilità dell'asta maggiormente sollecitata relativamente al profilo 240x30+100x30

- Materiale: S355
- Area (lorda) = 10.200 mm²
- Sollecitazione assiale di compressione $N_{Ed} = - 586 \text{ kN}$ (Combinazione SLU)
- Sollecitazione assiale di trazione $N_{Ed} = + 902 \text{ kN}$ (Combinazione SLU)
- Trazione massima da combinazione sismica: $N_{Ed} = +315 \text{ kN}$
- Compressione massima da combinazione sismica: $N_{Ed} = -170 \text{ kN}$
- Bulloni M27 cl.8.8: n°6
- Area netta = 8.520 mm² (si considera foro di diametro 28 mm)
- Piastra di nodo spessore 30 mm
- Distanze dei fori: $e_1 = 60\text{mm}$, $p_1 = 85\text{mm}$, $e_2 = 60\text{mm}$, $p_2 = 120\text{mm}$
- Forza massima tagliante sul singolo bullone $F_{Ed} = 150 \text{ kN}$
- Resistenza a rifollamento della piastra $F_{b,Rd,p} = 590 \text{ kN} > F_{Ed}$ $\rightarrow \Delta = 0,25$ verifica soddisfatta
- Resistenza a rifollamento dell'angolare $F_{b,Rd,CV} = 590 \text{ kN} > F_{Ed}$ $\rightarrow \Delta = 0,25$ verifica soddisfatta
- Resistenza a taglio del singolo bullone $F_{v,Rd} = 220 \text{ kN} > F_{Ed}$ $\rightarrow \Delta = 0,68$ verifica soddisfatta
- Resistenza di calcolo a trazione $N_{t,Rd} = 3129 \text{ kN} > N_{Ed}$ $\rightarrow \Delta = 0,29$ verifica soddisfatta
- Lunghezza $L_{OY} = 3,0 \text{ m}$ $\rightarrow \lambda_Y = 103$
- Lunghezza $L_{OZ} = 0,8 \times 3,0 = 2,4 \text{ m}$ $\rightarrow \lambda_Z = 40$
- Resistenza all'instabilità $N_{b,Rd} = 1319 \text{ kN} > N_{Ed}$ $\rightarrow \Delta = 0,44$ verifica soddisfatta

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 68 di 111

10.8 VERIFICHE DI RESISTENZA A FATICA

Le verifiche di resistenza a fatica sono effettuate con il metodo dei coefficienti λ come definito nel "Manuale di progettazione delle opere civili – parte II – sezione 2 – ponti e strutture". Si riconduce pertanto la verifica a fatica ad una verifica convenzionale di resistenza, confrontando il delta convenzionale di tensione di progetto $\Delta\sigma_{Ed}$ con la classe del particolare $\Delta\sigma_c$.

La variazione di tensione convenzionale di calcolo $\Delta\sigma_{Ed}$ è definita come:

$$\Delta\sigma_{Ed} = \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_{71}$$

dove:

- $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4$ è un fattore di correzione che tiene conto della lunghezza di influenza, del volume di traffico, della vita di progetto del ponte e della contemporaneità dei transiti
- $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82$ è il coefficiente di incremento dinamico del sovraccarico teorico

	L [m]	L_Φ [m]	Φ [-]
Travi Principali	23,04	23,04	1,13
Longherine	2,56	7,68	1,38
Traversi intermedi	7,60	15,2	1,21

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,20} + 0,82 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$$

Dove L_Φ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri, così come definita in Tab. 2.5.1.4.2.5.3-1.

Fig. 73 –Coefficienti dinamici per verifiche a fatica - estratto dal Manuale di progettazione RFI

- $\Delta\sigma_{71}$ è la differenza di tensione tra i valori estremi σ_{max} e σ_{min} dovuti al sovraccarico teorico di calcolo adottato per il ponte (LM71) nella posizione più sfavorevole.

La verifica impone che:

$$\Delta\sigma_{Ed} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} \quad \text{e} \quad \Delta\tau_{Ed} \leq \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}$$

dove:

- $\Delta\sigma_c$ e $\Delta\tau_c$ rappresentano la resistenza a fatica corrispondente a 2×10^6 cicli da ricavare sulle curve SN corrispondenti al particolare strutturale in esame
- $\gamma_{Mf} = 1,35$ per i ponti ferroviari metallici, considerati opere "sensibili ai fenomeni di fatica"

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 69 di 111

	Conseguenza della rottura per fatica	
	Moderate	Significative
Danneggiamento accettabile (strutture poco sensibili alla rottura per fatica)	$\gamma_{Mf}=1,00$	$\gamma_{Mf}=1,15$
Vita utile (strutture sensibili alla rottura per fatica)	$\gamma_{Mf}=1,15$	$\gamma_{Mf}=1,35$

Fig. 74 Coefficienti parziali per le verifiche a fatica

Il fattore di correzione λ si calcola come:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \leq \lambda_{\max} = 1,4$$

In particolare:

λ_1 dipende dalla lunghezza di influenza dell'elemento verificato

λ_2 tiene conto del volume di traffico: si assume 25×10^6 tonnellate come da manuale RFI

Traffico annuo [10 ⁶ t/binario]	5	10	15	20	25	30	35	40	50
λ_2	0.72	0.83	0.90	0.96	1.00	1.04	1.07	1.10	1.15

Fig. 75 Valore di λ_2 in termini di volume di traffico annuo

λ_3 tiene conto della vita di progetto del ponte: si assume 100 anni

Vita utile a fatica [anni]	50	60	70	80	90	100	120
λ_3	0.87	0.90	0.93	0.96	0.98	1.00	1.04

Fig. 76 Valore di λ_3 – vita utile a fatica

λ_4 tiene conto della contemporaneità dei convogli per ponti con più di un binario, pertanto in questo caso si assume pari ad 1,0 (ponte a binario unico).

Il fattore totale λ risulta pertanto pari a $\lambda_1 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 < 1,4$.

10.8.1 Trave Principale

Il coefficiente λ_1 risulta pari a 0,67 per stati tensionali provenienti da sollecitazioni flessionali, sia per sezioni in appoggio sia per sezioni in mezzera (si considera L = 23,04m).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 70 di 111

Per stati tensionali provenienti da sollecitazioni taglianti, si considera $L = 23,04$ m nelle sezioni di mezzeria ed $L = 0,4 \times 23,04 = 9,2$ m per sezioni in appoggio. Risulta pertanto $\lambda_1 = 0,67$ per le sezioni di mezzeria e $\lambda_1 = 0,88$ per le sezioni in appoggio. A favore di sicurezza, per gli stati tensionali provenienti da sollecitazioni taglianti si considera $\lambda_1 = 0,88$ per tutte le sezioni.

10.8.1.1. Dettaglio 71: attacchi trasversali

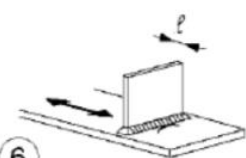
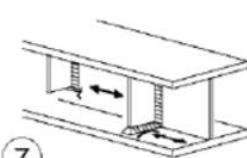
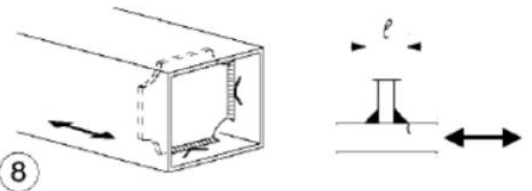
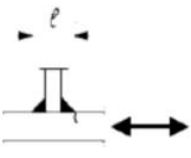
80 (a) 71 (b)			Attacchi trasversali 6) Saldati a una piastra 7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda (a) $l \leq 50$ mm (b) $50 < l \leq 80$ mm Le classi sono valide anche per nervature anulari	6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti 7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali
				

Fig. 77 Dettaglio 71 – attacchi trasversali DM2018

Si verifica il dettaglio 71 considerando la variazione di tensione in corrispondenza della saldatura tra stiffener e piattabanda (superiore e inferiore) della trave principale.

Nelle tabelle seguenti si riassumono i risultati per tutti i beam del modello, nelle sezioni iniziali e finali di ciascun elemento beam. Si riportano di seguito i calcoli relativi alla sezione maggiormente sollecitata (beam 7).

- $\Delta\sigma_1 = 30$ MPa
- $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,67 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,67$
- $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 = 1,13$
- $\Delta\sigma_{Ed} = 22,8$
- $k_s \cdot \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} = 42,25$
- $\Delta = 0,54$

→ verifica soddisfatta

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>VI0000</td> <td>A</td> <td>71 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	VI0000	A	71 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	VI0000	A	71 di 111								

DETT.71: STIFFENER - ANIMA INFERIORE							
FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{M1}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{M1}$ (N/mm ²)	Δ
1	0.0	46.8	0.00	14	0.0	46.8	0.00
1	0.0	46.8	0.00	14	0.0	46.8	0.00
2	2.6	46.8	0.06	15	1.4	46.8	0.03
2	11.3	46.8	0.24	15	11.0	46.8	0.24
3	11.3	46.8	0.24	16	11.0	46.8	0.24
3	16.3	46.8	0.35	16	14.8	46.8	0.32
4	11.9	42.3	0.28	17	10.9	42.3	0.26
4	15.7	42.3	0.37	17	13.8	42.3	0.33
5	15.4	42.3	0.36	18	13.9	42.3	0.33
5	20.2	42.3	0.48	18	17.7	42.3	0.42
6	19.4	42.3	0.46	19	17.0	42.3	0.40
6	21.9	42.3	0.52	19	19.0	42.3	0.45
7	21.8	42.3	0.52	20	19.0	42.3	0.45
7	21.9	42.3	0.52	20	18.9	42.3	0.45
8	22.1	42.3	0.52	21	18.9	42.3	0.45
8	19.6	42.3	0.46	21	16.8	42.3	0.40
9	20.5	42.3	0.49	22	17.4	42.3	0.41
9	15.6	42.3	0.37	22	13.6	42.3	0.32
10	16.2	42.3	0.38	23	13.2	42.3	0.31
10	12.4	42.3	0.29	23	10.3	42.3	0.24
11	16.9	46.8	0.36	24	13.9	46.8	0.30
11	11.9	46.8	0.26	24	10.0	46.8	0.21
12	11.9	46.8	0.26	25	9.9	46.8	0.21
12	1.4	46.8	0.03	25	0.8	46.8	0.02
13	0.0	46.8	0.00	26	0.0	46.8	0.00
13	0.0	46.8	0.00	26	0.0	46.8	0.00

DETT.71: STIFFENER - ANIMA SUPERIORE							
FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{M1}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{M1}$ (N/mm ²)	Δ
1	0.0	46.8	0.00	14	0.0	46.8	0.00
1	0.0	46.8	0.00	14	0.0	46.8	0.00
2	0.5	46.8	0.01	15	0.3	46.8	0.01
2	11.9	46.8	0.25	15	9.7	46.8	0.21
3	11.9	46.8	0.25	16	9.7	46.8	0.21
3	16.5	46.8	0.35	16	13.3	46.8	0.29
4	12.3	42.3	0.29	17	9.9	42.3	0.23
4	15.9	42.3	0.38	17	12.6	42.3	0.30
5	15.9	42.3	0.38	18	12.6	42.3	0.30
5	20.5	42.3	0.49	18	16.3	42.3	0.38
6	20.4	42.3	0.48	19	16.1	42.3	0.38
6	22.8	42.3	0.54	19	18.0	42.3	0.43
7	22.8	42.3	0.54	20	18.0	42.3	0.43
7	22.8	42.3	0.54	20	18.0	42.3	0.43
8	22.8	42.3	0.54	21	18.0	42.3	0.43
8	20.5	42.3	0.48	21	16.1	42.3	0.38
9	20.6	42.3	0.49	22	16.2	42.3	0.38
9	15.9	42.3	0.38	22	12.6	42.3	0.30
10	16.0	42.3	0.38	23	12.5	42.3	0.30
10	12.4	42.3	0.29	23	9.7	42.3	0.23
11	16.7	46.8	0.36	24	13.1	46.8	0.28
11	12.1	46.8	0.26	24	9.5	46.8	0.20
12	12.1	46.8	0.26	25	9.5	46.8	0.20
12	0.3	46.8	0.01	25	0.2	46.8	0.00
13	0.0	46.8	0.00	26	0.0	46.8	0.00
13	0.0	46.8	0.00	26	0.0	46.8	0.00

10.8.1.2. Dettaglio 80: giunti trasversali a piena penetrazione

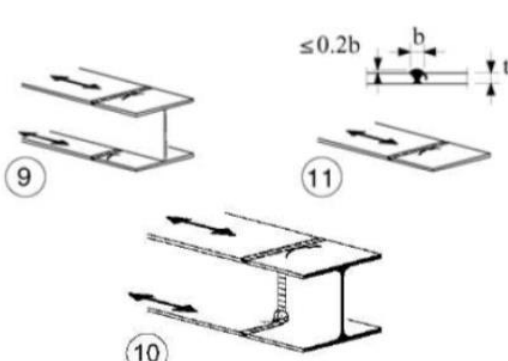
80		<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <p>9) Giunti trasversali in travi composte, in assenza di lunette di scarico</p> <p>10) Giunti trasversali completi di profili laminati, in presenza di lunette di scarico</p> <p>11) Giunti trasversali di lamiere, piatti, profilati e travi composte</p> <p>Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> <p>$k_s = (25/t)^{0.2}$</p>	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati, non molate e sottoposte a controlli non distruttivi.</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>Sovraspessore di saldatura non maggiore del 20% della larghezza del cordone, per i dettagli 9) e 11), o del 10% per il dettaglio 10, con zone di transizione regolari</p>
----	---	--	--

Fig. 78 Dettaglio 80 – attacchi trasversali DM2018

Si verifica il dettaglio 80 considerando la variazione di tensione in corrispondenza della piattabanda. Si riporta la verifica per tutta la lunghezza della trave indipendentemente dalla posizione del giunto testa a testa.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 72 di 111

Si riportano di seguito i calcoli relativi alla sezione maggiormente sollecitata (beam 7).

- $\Delta\sigma_1 = 32,7 \text{ MPa}$
- $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,67 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,67$
- $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 = 1,13$
- $\Delta\sigma_{Ed} = 24,8$
- $k_s \cdot \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} = 47,6$
- $\Delta = 0,52$ → verifica soddisfatta

DETT.80: GIUNTI TRASVERSALI A PIENA PENETRAZIONE - PTB INFERIORE							
FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ
1	0.0	52.7	0.00	14	0.0	52.7	0.00
1	0.0	52.7	0.00	14	0.0	52.7	0.00
2	2.7	52.7	0.05	15	1.4	52.7	0.03
2	14.4	52.7	0.27	15	14.2	52.7	0.27
3	14.4	52.7	0.27	16	12.9	52.7	0.25
3	16.7	52.7	0.32	16	17.0	52.7	0.32
4	12.4	47.6	0.26	17	12.5	47.6	0.26
4	14.7	47.6	0.31	17	15.7	47.6	0.33
5	14.4	47.6	0.30	18	15.5	47.6	0.32
5	20.0	47.6	0.42	18	20.0	47.6	0.42
6	19.4	47.6	0.41	19	19.3	47.6	0.41
6	22.4	47.6	0.47	19	21.4	47.6	0.45
7	22.3	47.6	0.47	20	21.3	47.6	0.45
7	22.1	47.6	0.46	20	21.3	47.6	0.45
8	22.5	47.6	0.47	21	21.2	47.6	0.45
8	19.4	47.6	0.41	21	19.0	47.6	0.40
9	20.5	47.6	0.43	22	19.6	47.6	0.41
9	14.9	47.6	0.31	22	15.6	47.6	0.33
10	15.5	47.6	0.32	23	15.2	47.6	0.32
10	13.3	47.6	0.28	23	12.1	47.6	0.25
11	17.9	52.7	0.34	24	16.4	52.7	0.31
11	15.7	52.7	0.30	24	13.1	52.7	0.25
12	15.7	52.7	0.30	25	13.8	52.7	0.26
12	1.4	52.7	0.03	25	0.8	52.7	0.02
13	0.0	52.7	0.00	26	0.0	52.7	0.00
13	0.0	52.7	0.00	26	0.0	52.7	0.00

DETT.80: GIUNTI TRASVERSALI A PIENA PENETRAZIONE - PTB SUPERIORE							
FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ
1	0.0	52.7	0.00	14	0.0	52.7	0.00
1	0.0	52.7	0.00	14	0.0	52.7	0.00
2	0.6	52.7	0.01	15	0.3	52.7	0.01
2	15.2	52.7	0.29	15	11.9	52.7	0.23
3	15.4	52.7	0.29	16	11.9	52.7	0.23
3	19.5	52.7	0.37	16	14.3	52.7	0.27
4	14.5	47.6	0.30	17	10.7	47.6	0.22
4	18.6	47.6	0.39	17	12.3	47.6	0.26
5	18.5	47.6	0.39	18	12.3	47.6	0.26
5	22.6	47.6	0.47	18	15.5	47.6	0.32
6	22.4	47.6	0.47	19	15.4	47.6	0.32
6	24.8	47.6	0.52	19	17.3	47.6	0.36
7	24.7	47.6	0.52	20	17.3	47.6	0.36
7	24.8	47.6	0.52	20	17.3	47.6	0.36
8	24.8	47.6	0.52	21	17.3	47.6	0.36
8	22.7	47.6	0.48	21	15.5	47.6	0.32
9	22.8	47.6	0.48	22	15.6	47.6	0.33
9	18.4	47.6	0.39	22	12.1	47.6	0.25
10	18.6	47.6	0.39	23	12.1	47.6	0.25
10	14.5	47.6	0.30	23	10.3	47.6	0.22
11	19.5	52.7	0.37	24	13.7	52.7	0.26
11	15.1	52.7	0.29	24	11.2	52.7	0.21
12	10.8	52.7	0.21	25	11.2	52.7	0.21
12	0.3	52.7	0.01	25	0.2	52.7	0.00
13	0.0	52.7	0.00	26	0.0	52.7	0.00
13	0.0	52.7	0.00	26	0.0	52.7	0.00

APPALTATORE: webuild   Implenia		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A FOGLIO. 73 di 111

10.8.1.3. Dettaglio 80: saldature a cordoni d'angolo

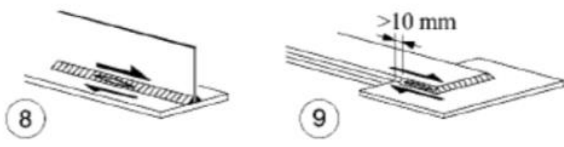
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80		<p>8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnessione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate</p> <p>9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali</p>	<p>8) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone</p> <p>9) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra</p>

Fig. 79 Dettaglio 80 – saldatura longitudinale anima – piattabanda

Si verifica il dettaglio 80 considerando la variazione di tensione in corrispondenza del cordone di saldatura tra l'anima e le piattabande (superiore ed inferiore) delle travi.

Nella tabella seguente si riassumono i risultati calcolati nelle sezioni di inizio e fine di ciascun beam del modello FEM. Si riportano di seguito i calcoli relativi alla sezione maggiormente sollecitata (beam 2).

- $\Delta\tau_1 = 8,5 \text{ MPa}$
- $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,88 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,88$
- $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 = 1,13$
- $\Delta\tau_{Ed} = 8,4 \text{ MPa}$
- $k_s \cdot \frac{\Delta\tau_C}{\gamma_{Mf}} = 59,9 \text{ MPa}$
- $\Delta = 0,14 \quad \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 74 di 111

DETT.80: CORDONI DI SALDATURA - ANIMA - PTB INFERIORE								DETT.80: CORDONI DI SALDATURA - ANIMA - PTB SUPERIORE							
FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ
1	0.0	59.9	0.00	14	0.0	59.9	0.00	1	0.0	59.9	0.00	14	0.0	59.9	0.00
1	0.0	59.9	0.00	14	0.0	59.9	0.00	1	0.0	59.9	0.00	14	0.0	59.9	0.00
2	8.4	59.9	0.14	15	6.5	59.9	0.11	2	8.0	59.9	0.13	15	6.2	59.9	0.10
2	8.4	59.9	0.14	15	6.5	59.9	0.11	2	8.0	59.9	0.13	15	6.2	59.9	0.10
3	6.6	59.9	0.11	16	5.2	59.9	0.09	3	6.3	59.9	0.11	16	4.9	59.9	0.08
3	6.6	59.9	0.11	16	5.2	59.9	0.09	3	6.3	59.9	0.11	16	4.9	59.9	0.08
4	7.4	59.9	0.12	17	5.7	59.9	0.10	4	7.1	59.9	0.12	17	5.5	59.9	0.09
4	7.4	59.9	0.12	17	5.7	59.9	0.10	4	7.1	59.9	0.12	17	5.5	59.9	0.09
5	5.4	59.9	0.09	18	4.2	59.9	0.07	5	5.2	59.9	0.09	18	4.0	59.9	0.07
5	5.4	59.9	0.09	18	4.2	59.9	0.07	5	5.2	59.9	0.09	18	4.0	59.9	0.07
6	3.9	59.9	0.06	19	3.0	59.9	0.05	6	3.7	59.9	0.06	19	2.9	59.9	0.05
6	3.9	59.9	0.06	19	3.0	59.9	0.05	6	3.7	59.9	0.06	19	2.9	59.9	0.05
7	2.5	59.9	0.04	20	1.9	59.9	0.03	7	2.4	59.9	0.04	20	1.8	59.9	0.03
7	2.5	59.9	0.04	20	1.9	59.9	0.03	7	2.4	59.9	0.04	20	1.8	59.9	0.03
8	3.8	59.9	0.06	21	3.0	59.9	0.05	8	3.7	59.9	0.06	21	2.9	59.9	0.05
8	3.8	59.9	0.06	21	3.0	59.9	0.05	8	3.7	59.9	0.06	21	2.9	59.9	0.05
9	5.4	59.9	0.09	22	4.2	59.9	0.07	9	5.2	59.9	0.09	22	4.0	59.9	0.07
9	5.4	59.9	0.09	22	4.2	59.9	0.07	9	5.2	59.9	0.09	22	4.0	59.9	0.07
10	7.4	59.9	0.12	23	5.7	59.9	0.10	10	7.1	59.9	0.12	23	5.5	59.9	0.09
10	7.4	59.9	0.12	23	5.7	59.9	0.10	10	7.1	59.9	0.12	23	5.5	59.9	0.09
11	6.6	59.9	0.11	24	5.2	59.9	0.09	11	6.3	59.9	0.11	24	4.9	59.9	0.08
11	6.6	59.9	0.11	24	5.2	59.9	0.09	11	6.3	59.9	0.11	24	4.9	59.9	0.08
12	8.4	59.9	0.14	25	6.5	59.9	0.11	12	8.0	59.9	0.13	25	6.2	59.9	0.10
12	8.4	59.9	0.14	25	6.5	59.9	0.11	12	8.0	59.9	0.13	25	6.2	59.9	0.10
13	0.0	59.9	0.00	26	0.0	59.9	0.00	13	0.0	59.9	0.00	26	0.0	59.9	0.00
13	0.0	59.9	0.00	26	0.0	59.9	0.00	13	0.0	59.9	0.00	26	0.0	59.9	0.00

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 75 di 111

10.8.2 Traversi

Il coefficiente λ_1 risulta pari a 0,76 per stati tensionali provenienti da sollecitazioni flessionali.

10.8.2.1. Dettaglio 71: attacchi trasversali

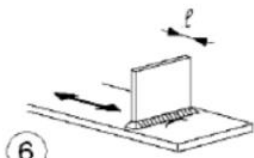
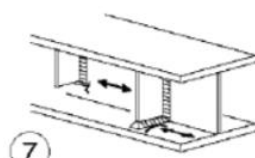
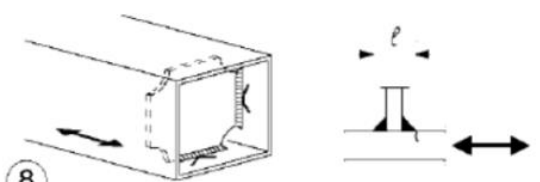
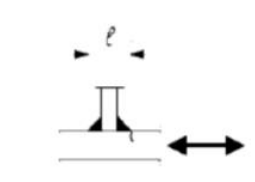
80 (a) 71 (b)			Attacchi trasversali 6) Saldati a una piastra 7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda (a) $l \leq 50$ mm (b) $50 < l \leq 80$ mm Le classi sono valide anche per nervature anulari	6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti 7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali
				

Fig. 80 Dettaglio 71 – attacchi trasversali DM2018

Si verifica il dettaglio 71 considerando la variazione di tensione in corrispondenza della saldatura tra stiffener e piattabanda superiore del traverso.

Nelle tabelle seguenti si riassumono i risultati per tutti i beam del modello, nelle sezioni iniziali e finali di ciascun elemento beam. Si riportano di seguito i calcoli relativi alla sezione maggiormente sollecitata (beam 5).

- $\Delta\sigma_1 = 9,9$ MPa
- $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,76 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,76$
- $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 = 1,21$
- $\Delta\sigma_{Ed} = 9,1$
- $k_s \cdot \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 46,8$
- $\Delta = 0,20$

→ verifica soddisfatta

Considerata la simmetria del ponte e dei carichi, si riportano di seguito le verifiche a fatica relative a metà trasversi (dall'appoggio, alla mezzzeria).

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ CL VI0000 A 76 di 111	

DETT.71: ATTACCHI TRASVERSALI											
FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{MF}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{MF}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{MF}$ (N/mm ²)	Δ
1	6.0	46.8	0.13	35	1.4	46.8	0.03	69	1.6	46.8	0.03
1	6.2	46.8	0.13	35	1.1	46.8	0.02	69	1.7	46.8	0.04
2	6.3	46.8	0.14	36	1.3	46.8	0.03	70	1.7	46.8	0.04
2	7.1	46.8	0.15	36	1.3	46.8	0.03	70	1.7	46.8	0.04
3	6.1	46.8	0.13	37	1.6	46.8	0.03	71	1.8	46.8	0.04
3	8.2	46.8	0.18	37	1.2	46.8	0.03	71	1.8	46.8	0.04
4	6.6	46.8	0.14	38	1.9	46.8	0.04	72	1.9	46.8	0.04
4	8.6	46.8	0.18	38	1.3	46.8	0.03	72	1.3	46.8	0.03
5	7.2	46.8	0.15	39	2.3	46.8	0.05	73	1.7	46.8	0.04
5	9.1	46.8	0.20	39	1.8	46.8	0.04	73	1.1	46.8	0.02
6	8.5	46.8	0.18	40	2.6	46.8	0.05	74	1.8	46.8	0.04
6	8.5	46.8	0.18	40	2.0	46.8	0.04	74	0.8	46.8	0.02
7	8.0	46.8	0.17	41	2.8	46.8	0.06	75	1.3	46.8	0.03
7	8.5	46.8	0.18	41	2.9	46.8	0.06	75	1.0	46.8	0.02
8	7.7	46.8	0.16	42	2.8	46.8	0.06	76	1.1	46.8	0.02
8	8.1	46.8	0.17	42	3.1	46.8	0.07	76	1.1	46.8	0.02
9	7.7	46.8	0.16	43	2.1	46.8	0.05	77	1.3	46.8	0.03
9	7.9	46.8	0.17	43	3.2	46.8	0.07	77	1.0	46.8	0.02
10	7.8	46.8	0.17	44	1.8	46.8	0.04	78	1.7	46.8	0.04
10	7.8	46.8	0.17	44	2.9	46.8	0.06	78	1.1	46.8	0.02
11	7.9	46.8	0.17	45	1.8	46.8	0.04	79	2.0	46.8	0.04
11	7.9	46.8	0.17	45	2.9	46.8	0.06	79	1.4	46.8	0.03
12	8.0	46.8	0.17	46	2.4	46.8	0.05	80	2.1	46.8	0.05
12	7.0	46.8	0.15	46	2.4	46.8	0.05	80	1.6	46.8	0.03
13	7.2	46.8	0.15	47	2.1	46.8	0.05	81	2.7	46.8	0.06
13	6.2	46.8	0.13	47	2.3	46.8	0.05	81	2.8	46.8	0.06
14	6.9	46.8	0.15	48	1.9	46.8	0.04	82	2.7	46.8	0.06
14	5.1	46.8	0.11	48	2.0	46.8	0.04	82	3.0	46.8	0.06
15	5.8	46.8	0.12	49	1.9	46.8	0.04	83	2.0	46.8	0.04
15	5.2	46.8	0.11	49	2.0	46.8	0.04	83	3.1	46.8	0.07
16	5.2	46.8	0.11	50	2.1	46.8	0.05	84	1.7	46.8	0.04
16	5.2	46.8	0.11	50	2.1	46.8	0.05	84	2.8	46.8	0.06
17	5.4	46.8	0.12	51	2.2	46.8	0.05	85	1.8	46.8	0.04
17	4.8	46.8	0.10	51	2.2	46.8	0.05	85	2.8	46.8	0.06
18	5.4	46.8	0.12	52	2.3	46.8	0.05	86	2.3	46.8	0.05
18	4.3	46.8	0.09	52	1.8	46.8	0.04	86	2.3	46.8	0.05
19	5.3	46.8	0.11	53	2.0	46.8	0.04	87	2.1	46.8	0.05
19	4.2	46.8	0.09	53	1.4	46.8	0.03	87	2.2	46.8	0.05
20	5.0	46.8	0.11	54	2.1	46.8	0.05	88	1.9	46.8	0.04
20	3.9	46.8	0.08	54	1.0	46.8	0.02	88	2.0	46.8	0.04
21	3.0	46.8	0.06	55	1.7	46.8	0.04	89	1.9	46.8	0.04
21	3.1	46.8	0.07	55	1.3	46.8	0.03	89	2.0	46.8	0.04
22	3.0	46.8	0.06	56	1.4	46.8	0.03	90	2.0	46.8	0.04
22	3.3	46.8	0.07	56	1.4	46.8	0.03	90	2.0	46.8	0.04
23	2.2	46.8	0.05	57	1.7	46.8	0.04	91	2.1	46.8	0.05
23	3.2	46.8	0.07	57	1.3	46.8	0.03	91	2.1	46.8	0.05
24	1.7	46.8	0.04	58	2.0	46.8	0.04	92	2.2	46.8	0.05
24	2.8	46.8	0.06	58	1.3	46.8	0.03	92	1.7	46.8	0.04
25	1.7	46.8	0.04	59	2.3	46.8	0.05	93	2.0	46.8	0.04
25	2.7	46.8	0.06	59	1.7	46.8	0.04	93	1.3	46.8	0.03
26	2.3	46.8	0.05	60	2.4	46.8	0.05	94	2.0	46.8	0.04
26	2.3	46.8	0.05	60	1.8	46.8	0.04	94	1.0	46.8	0.02
27	1.9	46.8	0.04	61	2.4	46.8	0.05	95	1.6	46.8	0.03
27	2.1	46.8	0.05	61	2.6	46.8	0.05	95	1.2	46.8	0.03
28	1.6	46.8	0.03	62	2.4	46.8	0.05	96	1.3	46.8	0.03
28	1.8	46.8	0.04	62	2.8	46.8	0.06	96	1.3	46.8	0.03
29	1.7	46.8	0.04	63	1.9	46.8	0.04	97	1.6	46.8	0.03
29	1.8	46.8	0.04	63	2.9	46.8	0.06	97	1.2	46.8	0.03
30	1.9	46.8	0.04	64	1.4	46.8	0.03	98	1.9	46.8	0.04
30	1.9	46.8	0.04	64	2.6	46.8	0.05	98	1.2	46.8	0.03
31	2.1	46.8	0.05	65	1.4	46.8	0.03	99	2.2	46.8	0.05
31	2.1	46.8	0.05	65	2.4	46.8	0.05	99	1.6	46.8	0.03
32	2.1	46.8	0.05	66	2.0	46.8	0.04	100	2.3	46.8	0.05
32	1.6	46.8	0.03	66	2.0	46.8	0.04	100	1.7	46.8	0.04
33	1.8	46.8	0.04	67	1.8	46.8	0.04				
33	1.1	46.8	0.02	67	1.9	46.8	0.04				
34	1.9	46.8	0.04	68	1.6	46.8	0.03				
34	0.8	46.8	0.02	68	1.8	46.8	0.04				

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 77 di 111

10.8.2.2. Dettaglio 80: pioli


80		9) The effect of welded shear studs on base material.
----	---	---

Fig. 81 Dettaglio 71 – attacchi trasversali DM2018

Si verifica il dettaglio 80 considerando la variazione di tensione in corrispondenza del filo superiore della piattabanda superiore del traverso.

Nelle tabelle seguenti si riassumono i risultati per tutti i beam del modello, nelle sezioni iniziali e finali di ciascun elemento beam. Si riportano di seguito i calcoli relativi alla sezione maggiormente sollecitata (beam 5).

- $\Delta\sigma_1 = 11 \text{ MPa}$
- $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,76 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,76$
- $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 = 1,21$
- $\Delta\sigma_{Ed} = 10,1$
- $k_s \cdot \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 52,7$
- $\Delta = 0,19$

→ verifica soddisfatta

APPALTATORE:



PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI
REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA
LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA
TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

PROGETTAZIONE:

Mandataria:

Mandanti:

SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST
M Ingegneria

PROGETTO ESECUTIVO

11 - OPERE CIVILI

Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO.

IBOU

1BEZZ

CL

VI0000

A

78 di 111

DETT.80: PIOLI SALDATI

FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\sigma_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ
1	6.5	52.7	0.12	35	1.9	52.7	0.04	69	2.1	52.7	0.04
1	6.8	52.7	0.13	35	1.7	52.7	0.03	69	2.2	52.7	0.04
2	6.9	52.7	0.13	36	1.8	52.7	0.03	70	2.3	52.7	0.04
2	7.7	52.7	0.15	36	1.8	52.7	0.03	70	2.3	52.7	0.04
3	6.7	52.7	0.13	37	2.0	52.7	0.04	71	2.3	52.7	0.04
3	8.9	52.7	0.17	37	1.6	52.7	0.03	71	2.3	52.7	0.04
4	7.2	52.7	0.14	38	2.3	52.7	0.04	72	2.6	52.7	0.05
4	9.5	52.7	0.18	38	1.7	52.7	0.03	72	1.9	52.7	0.04
5	8.1	52.7	0.15	39	2.8	52.7	0.05	73	2.2	52.7	0.04
5	10.1	52.7	0.19	39	2.1	52.7	0.04	73	1.6	52.7	0.03
6	9.3	52.7	0.18	40	2.9	52.7	0.05	74	2.2	52.7	0.04
6	9.5	52.7	0.18	40	2.2	52.7	0.04	74	1.1	52.7	0.02
7	8.9	52.7	0.17	41	3.0	52.7	0.06	75	1.7	52.7	0.03
7	9.5	52.7	0.18	41	3.1	52.7	0.06	75	1.4	52.7	0.03
8	8.7	52.7	0.16	42	3.0	52.7	0.06	76	1.6	52.7	0.03
8	9.1	52.7	0.17	42	3.4	52.7	0.07	76	1.4	52.7	0.03
9	8.7	52.7	0.16	43	2.3	52.7	0.04	77	1.7	52.7	0.03
9	8.9	52.7	0.17	43	3.6	52.7	0.07	77	1.3	52.7	0.03
10	8.8	52.7	0.17	44	2.1	52.7	0.04	78	2.0	52.7	0.04
10	8.9	52.7	0.17	44	3.3	52.7	0.06	78	1.3	52.7	0.03
11	8.9	52.7	0.17	45	2.2	52.7	0.04	79	2.2	52.7	0.04
11	8.9	52.7	0.17	45	3.4	52.7	0.07	79	1.7	52.7	0.03
12	9.0	52.7	0.17	46	3.0	52.7	0.06	80	2.3	52.7	0.04
12	8.0	52.7	0.15	46	3.0	52.7	0.06	80	1.8	52.7	0.03
13	8.1	52.7	0.15	47	2.7	52.7	0.05	81	2.9	52.7	0.05
13	7.0	52.7	0.13	47	2.9	52.7	0.05	81	3.0	52.7	0.06
14	7.7	52.7	0.15	48	2.3	52.7	0.04	82	2.9	52.7	0.05
14	5.9	52.7	0.11	48	2.6	52.7	0.05	82	3.3	52.7	0.06
15	6.5	52.7	0.12	49	2.4	52.7	0.05	83	2.3	52.7	0.04
15	5.9	52.7	0.11	49	2.6	52.7	0.05	83	3.4	52.7	0.07
16	5.9	52.7	0.11	50	2.7	52.7	0.05	84	2.0	52.7	0.04
16	5.9	52.7	0.11	50	2.7	52.7	0.05	84	3.2	52.7	0.06
17	6.1	52.7	0.12	51	2.8	52.7	0.05	85	2.1	52.7	0.04
17	5.3	52.7	0.10	51	2.8	52.7	0.05	85	3.2	52.7	0.06
18	6.0	52.7	0.11	52	2.9	52.7	0.05	86	2.8	52.7	0.05
18	4.8	52.7	0.09	52	2.3	52.7	0.04	86	2.8	52.7	0.05
19	5.8	52.7	0.11	53	2.4	52.7	0.05	87	2.6	52.7	0.05
19	4.7	52.7	0.09	53	1.9	52.7	0.04	87	2.8	52.7	0.05
20	5.3	52.7	0.10	54	2.6	52.7	0.05	88	2.3	52.7	0.04
20	4.2	52.7	0.08	54	1.4	52.7	0.03	88	2.6	52.7	0.05
21	3.3	52.7	0.06	55	2.0	52.7	0.04	89	2.4	52.7	0.05
21	3.4	52.7	0.07	55	1.7	52.7	0.03	89	2.6	52.7	0.05
22	3.4	52.7	0.07	56	1.8	52.7	0.03	90	2.6	52.7	0.05
22	3.8	52.7	0.07	56	1.8	52.7	0.03	90	2.6	52.7	0.05
23	2.7	52.7	0.05	57	2.0	52.7	0.04	91	2.7	52.7	0.05
23	3.8	52.7	0.07	57	1.6	52.7	0.03	91	2.7	52.7	0.05
24	2.2	52.7	0.04	58	2.2	52.7	0.04	92	2.8	52.7	0.05
24	3.3	52.7	0.06	58	1.6	52.7	0.03	92	2.2	52.7	0.04
25	2.3	52.7	0.04	59	2.4	52.7	0.05	93	2.4	52.7	0.05
25	3.3	52.7	0.06	59	1.9	52.7	0.04	93	1.8	52.7	0.03
26	3.0	52.7	0.06	60	2.6	52.7	0.05	94	2.4	52.7	0.05
26	3.0	52.7	0.06	60	1.9	52.7	0.04	94	1.3	52.7	0.03
27	2.6	52.7	0.05	61	2.8	52.7	0.05	95	1.9	52.7	0.04
27	2.8	52.7	0.05	61	2.9	52.7	0.05	95	1.6	52.7	0.03
28	2.2	52.7	0.04	62	2.8	52.7	0.05	96	1.7	52.7	0.03
28	2.4	52.7	0.05	62	3.1	52.7	0.06	96	1.7	52.7	0.03
29	2.3	52.7	0.04	63	2.1	52.7	0.04	97	1.9	52.7	0.04
29	2.4	52.7	0.05	63	3.2	52.7	0.06	97	1.4	52.7	0.03
30	2.7	52.7	0.05	64	1.9	52.7	0.04	98	2.1	52.7	0.04
30	2.7	52.7	0.05	64	3.0	52.7	0.06	98	1.4	52.7	0.03
31	2.8	52.7	0.05	65	1.9	52.7	0.04	99	2.4	52.7	0.05
31	2.8	52.7	0.05	65	3.0	52.7	0.06	99	1.8	52.7	0.03
32	2.8	52.7	0.05	66	2.6	52.7	0.05	100	2.4	52.7	0.05
32	2.2	52.7	0.04	66	2.6	52.7	0.05	100	1.8	52.7	0.03
33	2.3	52.7	0.04	67	2.3	52.7	0.04				
33	1.8	52.7	0.03	67	2.4	52.7	0.05				
34	2.4	52.7	0.05	68	2.1	52.7	0.04				
34	1.3	52.7	0.03	68	2.3	52.7	0.04				

APPALTATORE: webuild   Implenia		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A FOGLIO. 79 di 111

10.8.2.3. Dettaglio 80: saldature a cordoni d'angolo

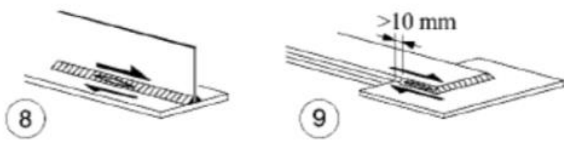
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80		<p>8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnessione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate</p> <p>9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali</p>	<p>8) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone</p> <p>9) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra</p>

Fig. 82 Dettaglio 80 – saldatura longitudinale anima – piattabanda

Si verifica il dettaglio 80 considerando la variazione di tensione in corrispondenza del cordone di saldatura tra l'anima e le piattabande (superiore ed inferiore) delle travi-

Nella tabella seguente si riassumono i risultati calcolati nelle sezioni di inizio e fine di ciascun beam del modello FEM. Si riportano di seguito i calcoli relativi alla sezione maggiormente sollecitata (beam 3 e 4).

- $\Delta\tau_1 = 7,9 \text{ MPa}$
- $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 0,76 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,76$
- $\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 = 1,21$
- $\Delta\tau_{Ed} = 7,23 \text{ MPa}$
- $k_s \cdot \frac{\Delta\tau_C}{\gamma_{Mf}} = 55,6 \text{ MPa}$
- $\Delta = 0,13 \quad \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ CL VI0000 A 80 di 111	

DETT.80: SALDATURA A CORDONI D'ANGOLO											
FRAME	$\Delta\tau_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\tau_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\tau_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\tau_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ	FRAME	$\Delta\tau_{Ed}$ (N/mm ²)	$k_s \Delta\tau_c / \gamma_{Mf}$ (N/mm ²)	Δ
1	2.3	55.6	0.04	35	1.6	55.6	0.03	69	0.3	55.6	0.01
1	2.3	55.6	0.04	35	1.6	55.6	0.03	69	0.3	55.6	0.01
2	4.3	55.6	0.08	36	0.2	55.6	0.00	70	0.2	55.6	0.00
2	4.3	55.6	0.08	36	0.2	55.6	0.00	70	0.2	55.6	0.00
3	7.2	55.6	0.13	37	1.8	55.6	0.03	71	0.0	55.6	0.00
3	7.2	55.6	0.13	37	1.8	55.6	0.03	71	0.0	55.6	0.00
4	7.0	55.6	0.13	38	2.4	55.6	0.04	72	2.3	55.6	0.04
4	7.0	55.6	0.13	38	2.4	55.6	0.04	72	2.3	55.6	0.04
5	6.5	55.6	0.12	39	2.4	55.6	0.04	73	2.3	55.6	0.04
5	6.5	55.6	0.12	39	2.4	55.6	0.04	73	2.3	55.6	0.04
6	0.1	55.6	0.00	40	2.4	55.6	0.04	74	3.1	55.6	0.06
6	0.1	55.6	0.00	40	2.4	55.6	0.04	74	3.1	55.6	0.06
7	1.6	55.6	0.03	41	1.0	55.6	0.02	75	1.4	55.6	0.03
7	1.6	55.6	0.03	41	1.0	55.6	0.02	75	1.4	55.6	0.03
8	1.1	55.6	0.02	42	2.1	55.6	0.04	76	0.2	55.6	0.00
8	1.1	55.6	0.02	42	2.1	55.6	0.04	76	0.2	55.6	0.00
9	0.7	55.6	0.01	43	4.0	55.6	0.07	77	1.8	55.6	0.03
9	0.7	55.6	0.01	43	4.0	55.6	0.07	77	1.8	55.6	0.03
10	0.3	55.6	0.01	44	3.9	55.6	0.07	78	2.3	55.6	0.04
10	0.3	55.6	0.01	44	3.9	55.6	0.07	78	2.3	55.6	0.04
11	0.0	55.6	0.00	45	3.8	55.6	0.07	79	2.3	55.6	0.04
11	0.0	55.6	0.00	45	3.8	55.6	0.07	79	2.3	55.6	0.04
12	3.8	55.6	0.07	46	0.0	55.6	0.00	80	2.3	55.6	0.04
12	3.8	55.6	0.07	46	0.0	55.6	0.00	80	2.3	55.6	0.04
13	4.2	55.6	0.08	47	1.2	55.6	0.02	81	1.0	55.6	0.02
13	4.2	55.6	0.08	47	1.2	55.6	0.02	81	1.0	55.6	0.02
14	5.4	55.6	0.10	48	0.7	55.6	0.01	82	2.0	55.6	0.04
14	5.4	55.6	0.10	48	0.7	55.6	0.01	82	2.0	55.6	0.04
15	3.0	55.6	0.05	49	0.4	55.6	0.01	83	3.8	55.6	0.07
15	3.0	55.6	0.05	49	0.4	55.6	0.01	83	3.8	55.6	0.07
16	0.4	55.6	0.01	50	0.2	55.6	0.00	84	3.8	55.6	0.07
16	0.4	55.6	0.01	50	0.2	55.6	0.00	84	3.8	55.6	0.07
17	3.6	55.6	0.06	51	0.0	55.6	0.00	85	3.7	55.6	0.07
17	3.6	55.6	0.06	51	0.0	55.6	0.00	85	3.7	55.6	0.07
18	4.6	55.6	0.08	52	2.3	55.6	0.04	86	0.0	55.6	0.00
18	4.6	55.6	0.08	52	2.3	55.6	0.04	86	0.0	55.6	0.00
19	4.6	55.6	0.08	53	2.3	55.6	0.04	87	1.1	55.6	0.02
19	4.6	55.6	0.08	53	2.3	55.6	0.04	87	1.1	55.6	0.02
20	4.6	55.6	0.08	54	3.2	55.6	0.06	88	0.6	55.6	0.01
20	4.6	55.6	0.08	54	3.2	55.6	0.06	88	0.6	55.6	0.01
21	0.9	55.6	0.02	55	1.6	55.6	0.03	89	0.4	55.6	0.01
21	0.9	55.6	0.02	55	1.6	55.6	0.03	89	0.4	55.6	0.01
22	2.0	55.6	0.04	56	0.2	55.6	0.00	90	0.2	55.6	0.00
22	2.0	55.6	0.04	56	0.2	55.6	0.00	90	0.2	55.6	0.00
23	3.8	55.6	0.07	57	1.8	55.6	0.03	91	0.0	55.6	0.00
23	3.8	55.6	0.07	57	1.8	55.6	0.03	91	0.0	55.6	0.00
24	3.7	55.6	0.07	58	2.4	55.6	0.04	92	2.3	55.6	0.04
24	3.7	55.6	0.07	58	2.4	55.6	0.04	92	2.3	55.6	0.04
25	3.4	55.6	0.06	59	2.4	55.6	0.04	93	2.4	55.6	0.04
25	3.4	55.6	0.06	59	2.4	55.6	0.04	93	2.4	55.6	0.04
26	0.0	55.6	0.00	60	2.4	55.6	0.04	94	3.3	55.6	0.06
26	0.0	55.6	0.00	60	2.4	55.6	0.04	94	3.3	55.6	0.06
27	1.2	55.6	0.02	61	0.9	55.6	0.02	95	1.6	55.6	0.03
27	1.2	55.6	0.02	61	0.9	55.6	0.02	95	1.6	55.6	0.03
28	0.7	55.6	0.01	62	1.9	55.6	0.03	96	0.2	55.6	0.00
28	0.7	55.6	0.01	62	1.9	55.6	0.03	96	0.2	55.6	0.00
29	0.3	55.6	0.01	63	3.6	55.6	0.06	97	1.8	55.6	0.03
29	0.3	55.6	0.01	63	3.6	55.6	0.06	97	1.8	55.6	0.03
30	0.2	55.6	0.00	64	3.6	55.6	0.06	98	2.6	55.6	0.05
30	0.2	55.6	0.00	64	3.6	55.6	0.06	98	2.6	55.6	0.05
31	0.0	55.6	0.00	65	3.6	55.6	0.06	99	2.4	55.6	0.04
31	0.0	55.6	0.00	65	3.6	55.6	0.06	99	2.4	55.6	0.04
32	2.2	55.6	0.04	66	0.0	55.6	0.00	100	2.4	55.6	0.04
32	2.2	55.6	0.04	66	0.0	55.6	0.00	100	2.4	55.6	0.04
33	2.3	55.6	0.04	67	1.0	55.6	0.02				
33	2.3	55.6	0.04	67	1.0	55.6	0.02				
34	3.3	55.6	0.06	68	0.4	55.6	0.01				
34	3.3	55.6	0.06	68	0.4	55.6	0.01				

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI	Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	81 di 111

10.9 VERIFICHE DI DEFORMABILITA' DELL'IMPALCATO

10.9.1 Stato limite di esercizio per la sicurezza del traffico ferroviario

Il manuale di progettazione RFI al §2.5.1.8.3.2.2. "Requisiti concernenti le deformazioni e le vibrazioni" prescrive una limitazione alla deformazione verticale dell'impalcato agli stati limite di servizio per la sicurezza del traffico ferroviario.

La deformazione verticale massima ammessa è definita pari a $L/600$ ed è calcolata con i modelli di carico LM71 ed SW/2 incrementati del coefficiente dinamico $\Phi \times \beta$ e del coefficiente di adattamento α .

Nella tabella seguente si riportano gli abbassamenti calcolati nella sezione di mezzeria per le due tipologie di carico (LM71 ed SW2).

	$\Phi \times \beta$	α	Abbassamento [mm]
LM71	1,32	1,1	-7,8
SW2	1,32	1,0	-9,5

Fig. 83 Deformabilità verticale dell'impalcato in mezzeria

Gli abbassamenti relativi riportati in tabella ($\delta_{\max} = 9,5$ mm) risultano inferiori al limite ammesso per la luce della campata ($23.040/600 = 38$ mm), pertanto la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 82 di 111

10.9.2 Stato limite per il comfort dei passeggeri

La normativa ferroviaria limita i valori della freccia verticale per i ponti in funzione della luce e del numero delle campate consecutive, dello schema statico del ponte e della velocità di percorrenza del convoglio.

Nel caso in esame, l'impalcato ha una lunghezza totale di 23,04m e la freccia calcolata per il modello di carico LM71 (con il relativo incremento dinamico ed il coefficiente α) risulta pari a 7,8mm.

Dal grafico di Fig. 84, considerando la velocità di progetto di 250 km/h, si ottiene un limite L/δ pari a 1300, che corrisponde a una freccia limite di $23.040/1.300 = 17,7$ mm.

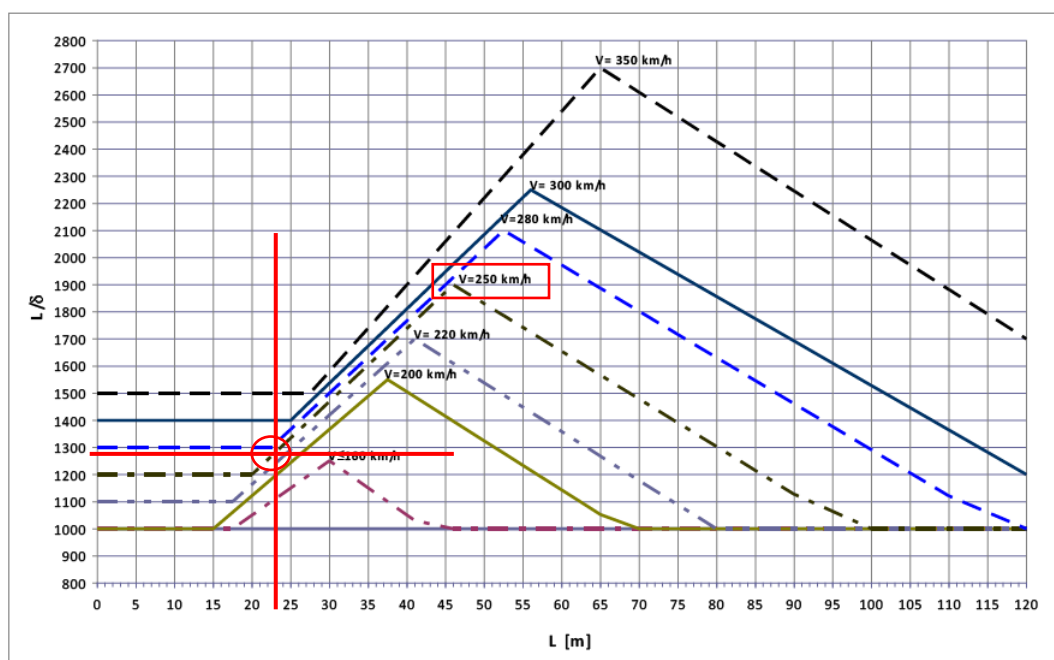


Fig. 84 valori del limite di deformabilità per il comfort dei passeggeri – estratto dal Manuale di Progettazione RFI

La freccia calcolata (7,8mm) risulta inferiore al limite (17,7mm) , pertanto la verifica risulta soddisfatta.

10.9.3 Inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato

Considerando la presenza del treno di carico LM71, incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico $\Phi = 1,32$ e con il coefficiente α , l'azione del vento e la forza laterale (serpeggio), l'inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato non deve produrre un raggio di curvatura orizzontale minore di 17.500m, come da Manuale RFI. Nel caso in esame la freccia orizzontale risulta pari a 1,0mm e pertanto il raggio di curvatura risulta:

$$R = \frac{L^2}{8 \cdot \delta_H} = 66.355 > 17.500 \quad \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	83 di 111

10.10 CONTROFRECCIA DI COSTRUZIONE

Si prevede opportuna controfreccia di costruzione come definita dal manuale RFI (§ 2.6.2.8.2), al fine di contrastare le deformazioni elastiche dovute ai seguenti carichi:

- peso proprio della struttura metallica e della soletta (f_p);
- peso delle opere di finitura (f_f);
- effetti del ritiro e della viscosità (f_r);
- carichi verticali da traffico (f_s)

La controfreccia risulta quindi sommando i diversi contributi secondo la regola: $c_f = f_p + f_f + f_r + 0,25 \times \Phi \times f_s$

Si riportano in tabella i valori di controfreccia calcolati in corrispondenza delle sezioni indicate in Fig. 85.

Si considera un coefficiente di incremento dinamico totale $\Phi \times \beta$ pari a 1,32 per le travi, come definito al §8.4.

		Sez.Mezzeria
p.p	fp	-5,7
perm	ff	-4,3
ritiro	fr	-0,5
treno LM71	fs	-7,9
treno SW2	fs	-9,5
tot	cf	-13,0

Fig. 85 Controfreccia di costruzione: impalcato

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 84 di 111

10.11 REAZIONI

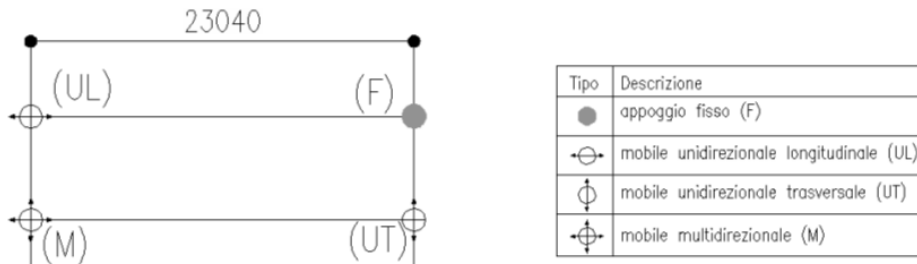


Fig. 86 Schema di vincolo

La tabella seguente riassume le reazioni vincolari per ciascun dispositivo di appoggio, calcolate per le principali condizioni di carico.

REAZIONI	F			UT			UL			M		
	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
Peso proprio (acciaio+c.a.) [G1]	-	-	739	-	-	730	-	-	739	-	-	730
Sovraccarichi permanenti [G2]	-	-	591	-	-	561	-	-	612	-	-	580
Carichi viaggianti (MAX)	123	40	1308	26	-	975	-	12	1305	-	-	977
Carichi viaggianti (min)	-26	-8	-4	-123	-	-3	-	-40	-192	-	-	-174
Frenatura e avviamento (+/-)	414	14	35	383	-	36	-	14	35	-	-	36
Serpeggiamento (+/-)	20	99	27	20	-	27	-	99	27	-	-	27
Resistenza passiva dei vincoli (3%)	40	-	-	39	-	-	41	-	-	39	-	-
Vento (ponte carico) (+/-)	66	206	75	66	-	75	-	169	78	-	-	78
DT (+/-)	9	3	0	18	-	0	-	6	0	-	-	0
Sisma longitudinale EX (+/-)	352	23	88	331	-	86	-	33	90	-	-	84
Sisma trasversale EY (+/-)	329	361	78	329	-	71	-	296	77	-	-	69

Fig. 87 Reazioni vincolari - condizione di carico

Le reazioni massime calcolate agli SLU, SLE ed SLV risultano:

APPOGGIO FISSO				APPOGGIO UNIDIREZIONALE LONGITUDINALE			
COMBINAZIONI	Rvert	Rlong	Rtrasv	COMBINAZIONI	Rvert	Rlong	Rtrasv
SLU	3947	939	427	SLU	3978	-	396
SLE	2751	646	290	SLE	2771	-	270
PESI PROPRI E PERMANENTI	1330	-	-	PESI PROPRI E PERMANENTI	1351	-	-
COMB.SISMICA	1611	450	368	COMB.SISMICA	1634	-	306
APPOGGI SU PILA				APPOGGI SU PILA			
APPOGGIO UNIDIREZIONALE TRASVERSALE				APPOGGIO MULTIDIREZIONALE			
COMBINAZIONI	Rvert	Rlong	Rtrasv	COMBINAZIONI	Rvert	Rlong	Rtrasv
SLU	3409	897	-	SLU	3442	-	-
SLE	2381	617	-	SLE	2403	-	-
PESI PROPRI E PERMANENTI	1291	-	-	PESI PROPRI E PERMANENTI	1310	-	-
COMB.SISMICA	1524	430	-	COMB.SISMICA	1541	-	-

Fig. 88 Reazioni vincolari massime SLU, SLE ed SLV

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 85 di 111

10.12 ESCURSIONIE LONGITUDINALE, GIUNTI E VARCHI

Nel manuale di progettazione RFI l'escursione longitudinale dei giunti è così definita:

<i>In direzione longitudinale:</i>	
$E_L = k_1 \cdot (E_1 + E_2 + E_3) = k_1 \cdot (2 \cdot D_t + 4 \cdot d_{Ed} \cdot k_2 + 2 \cdot d_{eg})$	
dove:	
$E_1 =$	spostamento dovuto alla variazione termica uniforme;
$E_2 =$	spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica;
$E_3 =$	spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate;
$k_1 =$	0,45 coefficiente che tiene conto della non contemporaneità dei valori massimi corrispondenti a ciascun evento singolo;
$k_2 =$	0,55 coefficiente legato alla probabilità di moto in controfase di due pile adiacenti;
$d_{Ed} =$	è lo spostamento relativo totale tra le parti, pari allo spostamento d_E prodotto dall'azione sismica di progetto, calcolato come indicato nel paragrafo 7.3.3.3 del DM 17.01.2018 che di seguito si riporta.
In ogni caso, dovrà risultare:	
$E_L \geq E_0 \quad \text{e} \quad E_L \geq E_i \quad \text{con} \quad i = 1, 2, 3$	
ove:	
$E_0 =$	escursione valutata secondo i criteri validi nelle zone non sismiche;
$E_i =$	il maggiore dei due termini indicati nella espressione precedente.
Nei casi in cui anche una sola delle due precedenti disuguaglianze non risultasse verificata, dovrà assumersi	
$E_L = \max(E_0; E_3)$.	

Fig. 89 Estratto dal Manuale di Progettazione RFI - §2.5.2.1.5.1

- Lo spostamento dovuto alla variazione termica uniforme risulta:
 $E_1 = 2x D_t = 2x10,4 = 20,7$ mm (calcolato con $L = 84$ m e variazione termica $\Delta T = 25x1.5 = 37,5^\circ C$, come indicato al §8.11).
- Lo spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica risulta:
 $E_2 = 4x d_{Ed} x k_2 = 4x32x0,55 = 70$ mm (considerando lo spostamento relativo tra le parti $d_{Ed} = 32$ mm indicato nelle relazioni di calcolo delle pile IB0U1BEZZCLVI0000007A e IB0U1BEZZCLVI0000008A)
- Lo spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate risulta:
 $E_3 = 2x d_{Eg} = 2x5,4 = 10,9$ mm (calcolato considerando i parametri sismici riportati al §8.12).

L'escursione longitudinale risulta:

$$E_L = 0,45 \times (20,7 + 70 + 10,9) = 45 \text{ mm}$$

L'escursione minima richiesta dalla normativa in funzione della sismicità del sito risulta:

$$E_{L,\min} = \max(0,1 ; 2,3x23,04/1000+0,073) = 0,126 \text{ m} = 126 \text{ mm (calcolata con } a_g = 0,065 \text{ m/s}^2 \text{ e } L = 23,04\text{m)}$$

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	86 di 111

Per garantire un valore minimo di escursione, in funzione della sismicità del sito, il valore E_L dovrà essere assunto non minore di:

$$E_L \geq 3.3 \cdot \frac{L}{1000} + 0.1 \text{ e } E_L \geq 0.15m \text{ per le zone classificate sismiche con } a_g(SLV) \geq 0.25 \text{ g}$$

$$E_L \geq 2.3 \cdot \frac{L}{1000} + 0.073 \text{ e } E_L \geq 0.10m \text{ per le zone classificate sismiche con } a_g(SLV) < 0.25 \text{ g}$$

ove:
L = la lunghezza del ponte (m).
Tali limiti vengono riportati nella successiva figura 5.2.2.1.5.1.

Fig. 90 Estratto dal Manuale di Progettazione RFI - §2.5.2.1.5.1

Si definiscono le dimensioni delle escursioni e dei varchi considerando E_L pari al valore massimo tra i due sopra calcolati, ossia **126 mm**, per cui risulta:

- $E_{C,min} = +/- 78 \text{ mm}$: corsa minima degli apparecchi d'appoggio definita dalla normativa
- $E_{G,min} = +/- 73 \text{ mm}$: escursione minima dei giunti definita dalla normativa
- $V_{min} = +/- 83 \text{ mm}$: ampiezza dei varchi

La distanza fra il cuscinetto di neoprene del ritegno sismico trasversale è limitata a 5mm +/-2mm, mentre la distanza per il ritegno sismico longitudinale risulta pari a $E_L/2+10\text{mm} = 73\text{mm}$, pertanto si assume una distanza di 80mm.

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 87 di 111

10.13 RITEGNI SISMICI

In conformità alle prescrizioni del Manuale RFI per le strutture in zona sismica, si prevedono dei ritegni in carpenteria metallica in grado di contrastare i movimenti orizzontali (longitudinali e trasversali) dell'impalcato, nel caso di perdita di funzionalità degli appoggi.

La forza sismica agente sui ritegni è definita separatamente per le due direzioni principali moltiplicando l'accelerazione sismica per la massa partecipante (pesi propri, permanenti ed il 20% della massa del treno). Pertanto la massa totale risulta pari a 583 t, dove:

- Peso impalcato = $1.386/9,81 = 141$ t
- Peso soletta = $1.550/9,81 = 158$ t
- Sovraccarichi permanenti = $94,6 \times 24/9,81 = 235$ t
- 20% del Treno LM71 = $0,2 \times (250 \times 4 + 80 \times (24 - 1,6 \times 4)) / 9,81 = 1442/9,81 = 49$ t

L'accelerazione sismica si ricava dall'analisi modale della struttura. Come riportato nelle tabelle seguenti, il modo di vibrare principale in direzione longitudinale è il modo n° 4 (78% della massa con T = 0,10 sec (Fig. 91), mentre in direzione trasversale sono i modi n°2, 3 e 4 (81% della massa con T compreso tra 0,10 e 0,15 sec - Fig. 92).

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.19	0.09	0.00	0.69	0.09	0.00	0.69
MODAL	Mode	2	0.13	0.00	0.69	0.00	0.09	0.69	0.69
MODAL	Mode	3	0.10	0.01	0.12	0.00	0.10	0.81	0.69
MODAL	Mode	4	0.10	0.78	0.00	0.06	0.88	0.81	0.75
MODAL	Mode	5	0.06	0.00	0.00	0.00	0.88	0.81	0.75
MODAL	Mode	6	0.05	0.01	0.00	0.00	0.89	0.81	0.75
MODAL	Mode	7	0.04	0.00	0.01	0.14	0.89	0.82	0.89
MODAL	Mode	8	0.04	0.00	0.01	0.00	0.89	0.83	0.89
MODAL	Mode	9	0.04	0.00	0.02	0.00	0.89	0.85	0.89
MODAL	Mode	10	0.04	0.00	0.01	0.00	0.89	0.85	0.89
MODAL	Mode	11	0.03	0.03	0.00	0.00	0.92	0.86	0.89
MODAL	Mode	12	0.03	0.05	0.00	0.00	0.97	0.86	0.89
MODAL	Mode	13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.97	0.86	0.90
MODAL	Mode	14	0.03	0.00	0.09	0.02	0.97	0.95	0.92
MODAL	Mode	15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.97	0.95	0.92
MODAL	Mode	16	0.03	0.00	0.01	0.00	0.97	0.96	0.92
MODAL	Mode	17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.92
MODAL	Mode	18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.92
MODAL	Mode	19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.92
MODAL	Mode	20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.97	0.96	0.92

Fig. 91 Analisi modale per sisma longitudinale

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 88 di 111

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.20	0.25	0.00	0.56	0.25	0.00	0.56
MODAL	Mode	2	0.15	0.50	0.10	0.17	0.75	0.10	0.73
MODAL	Mode	3	0.12	0.15	0.61	0.02	0.90	0.71	0.75
MODAL	Mode	4	0.10	0.04	0.10	0.00	0.94	0.81	0.75
MODAL	Mode	5	0.06	0.00	0.00	0.00	0.94	0.81	0.75
MODAL	Mode	6	0.05	0.00	0.00	0.00	0.94	0.81	0.75
MODAL	Mode	7	0.04	0.00	0.01	0.14	0.94	0.82	0.89
MODAL	Mode	8	0.04	0.00	0.00	0.00	0.94	0.82	0.89
MODAL	Mode	9	0.04	0.00	0.01	0.00	0.94	0.83	0.89
MODAL	Mode	10	0.04	0.00	0.02	0.00	0.94	0.85	0.89
MODAL	Mode	11	0.04	0.00	0.00	0.00	0.94	0.85	0.89
MODAL	Mode	12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.95	0.86	0.89
MODAL	Mode	13	0.03	0.04	0.00	0.00	0.98	0.86	0.90
MODAL	Mode	14	0.03	0.00	0.09	0.02	0.99	0.95	0.92
MODAL	Mode	15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.99	0.95	0.92
MODAL	Mode	16	0.03	0.00	0.01	0.00	0.99	0.96	0.92
MODAL	Mode	17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.99	0.96	0.92
MODAL	Mode	18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.99	0.96	0.92
MODAL	Mode	19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.99	0.96	0.92
MODAL	Mode	20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.99	0.96	0.92

Fig. 92 Analisi modale per sisma trasversale

Entrando nello spettro di progetto con i periodi definiti tramite l'analisi modale, si ottengono le accelerazioni sismiche nelle due direzioni principali:

- $T_4 = 0,10 \text{ sec} \rightarrow Se = 0,15 \text{ g [m/s}^2\text{]}$
- $T_2 = 0,15 \text{ sec} \rightarrow Se = 0,19 \text{ g [m/s}^2\text{]} \text{ (plateau)}$
- $T_4 = 0,10 \text{ sec} \rightarrow Se = 0,15 \text{ g [m/s}^2\text{]}$

Moltiplicando l'accelerazione per la massa, si ottengono le forze sismiche agenti sui ritegni sismici.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 89 di 111

10.13.1 Ritegno sismico Longitudinale

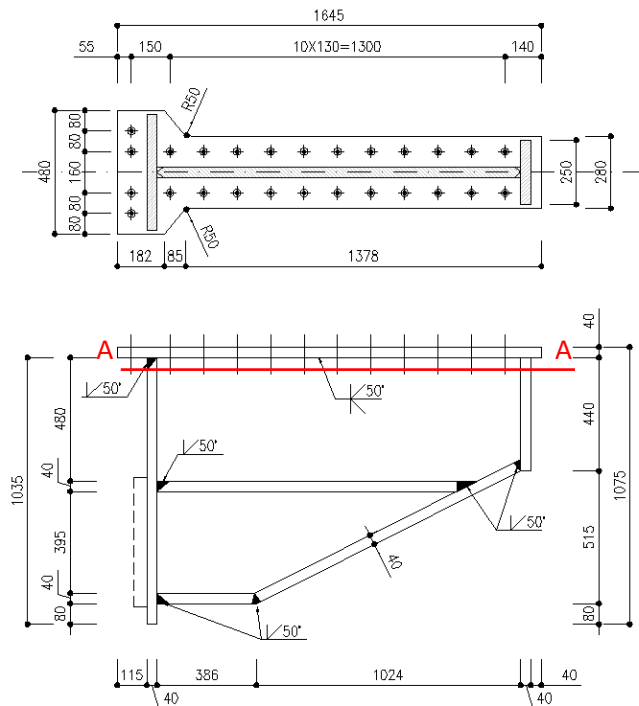


Fig. 93 Ritegno sismico longitudinale

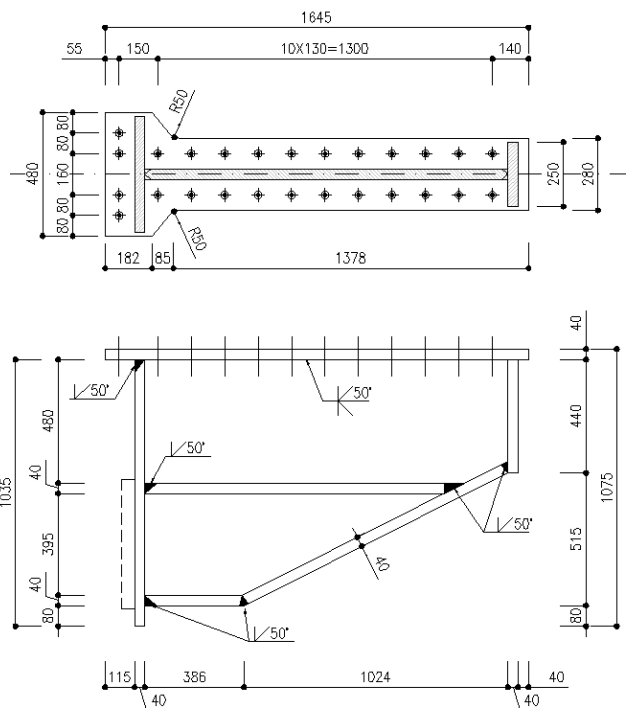
Considerando un'accelerazione sismica pari a 0,15 g, la forza sismica totale longitudinale risulta:

$$E_{x,tot} = 583 \times 0,15 \times 9,81 = 858 \text{ kN}$$

Tale forza va ripartita tra i due ritegni sismici longitudinali per cui si ottiene una forza di 430 kN su ciascun dispositivo.

Il ritegno sismico longitudinale è costituito da un composto saldato bullonato alla piattabanda inferiore della trave principale. Si riporta di seguito la verifica del giunto flangiato considerando una forza tagliante pari a 430 kN ed un momento flettente pari a $430 \times 0,76\text{m} = 327 \text{ kNm}$.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 90 di 111



Le tensioni nella sezione A-A in

Fig. 93 risultano:

$$\tau = V / A = 430 \times 1000 / (1410 \times 40) = 8 \text{ MPa} < 345 / 3^{0,5} / 1,05 = 190 \text{ MPa} \quad \rightarrow \Delta = 0,04$$

$$\sigma = M / W = 327 \times 10^6 / (2,91 \times 10^7) = 11 \text{ MPa} < 345 / 1,05 = 328 \text{ MPa} \quad \rightarrow \Delta = 0,03$$

$$\sigma_{id} = 13 \text{ MPa} < 345 / 1,05 = 328 \text{ MPa} \quad \rightarrow \Delta = 0,04$$

Le tensioni risultano abbondantemente inferiori al limite, pertanto la verifica di resistenza è soddisfatta.

Per la verifica della flangia, si considera un precarico di 171 kN per ciascun bullone. In condizioni sismiche la flangia risulta sempre compressa, come illustrato in Fig. 94 (a sinistra).

$$\text{La forza tagliante agente su ciascun bullone risulta } F_{V,Ed} = 430/26 = 17 \text{ kN} < F_{V,Rd} = 220 \text{ kN} \rightarrow \Delta = 0,08$$

Per verificare lo spessore della flangia, si calcola la forza di trazione sui bulloni maggiormente sollecitati. Come risulta nella Fig. 94 (a destra), la tensione massima sui bulloni è pari a 46 MPa, che corrisponde ad una forza totale di $46 \times 459 \times 4 / 1000 = 84 \text{ kN}$. Considerando una distanza di 60mm tra il bullone ed il piatto verticale, il momento sollecitante risulta pari a $84 \times 0,06 = 5 \text{ kNm}$. La tensione nel piatto risulta quindi:

$$\sigma = 5 \times 10^6 / (1/6 \times 480 \times 40^2) = 39 \text{ MPa} < 345 / 1,05 = 328 \text{ MPa} \quad \rightarrow \Delta = 0,12 \text{ verifica soddisfatta}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 91 di 111

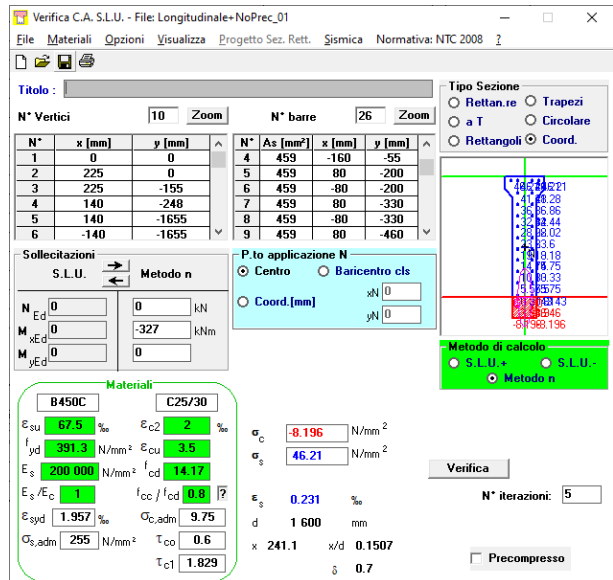
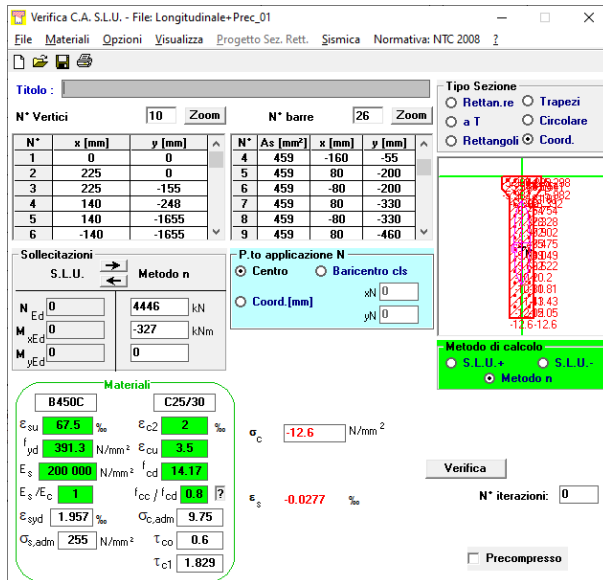


Fig. 94 Ritegno sismico longitudinale – calcolo delle tensioni

10.13.2 Ritegno Sismico Trasversale

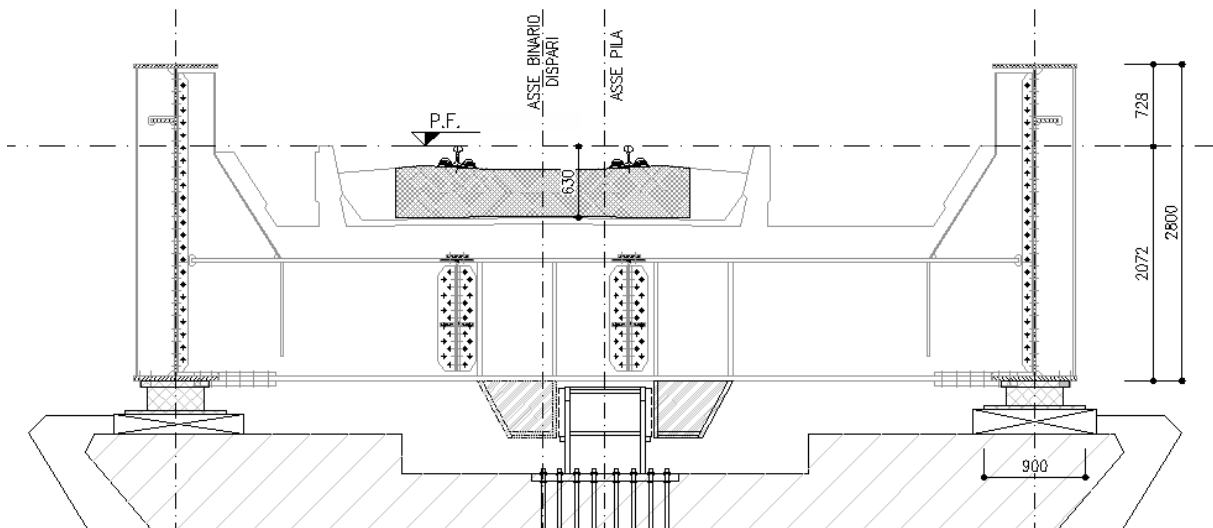


Fig. 95 Ritegno sismico trasversale

Si verifica il ritegno sismico trasversale per resistere alla massima forza sismica calcolata a favore di sicurezza come:

$$E_y = 583 \times 0,19 \times 9,81 / 2 = 1.450 / 2 = 540 \text{ kN}$$

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>VI0000</td> <td>A</td> <td>92 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	92 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	92 di 111								

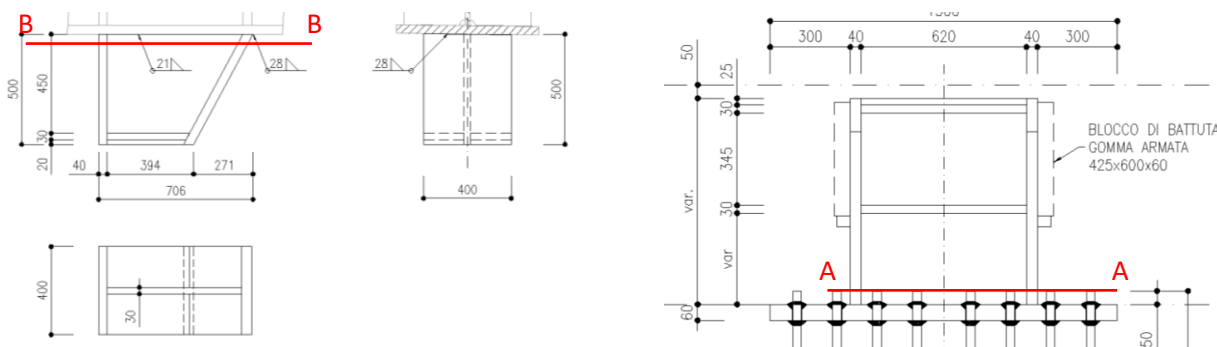


Fig. 96 Ritegno sismico trasversale

Il ritegno sismico trasversale è costituito da un composto in carpenteria metallica saldato ad una piastra inghisata alla pila e da due elementi composti saldati all'intradosso del traverso.

Si calcola lo stato tensionale nelle sezioni A-A e B-B illustrate in Fig. 96:

- Sezione A-A:

$$\text{taglio } V = 540 \text{ kN} \quad \rightarrow \tau_{\text{media}} = 540 \times 1000 / (620 \times 30) = 30 \text{ MPa} < 190 \text{ MPa} \rightarrow \Delta = 0,15$$

$$\text{momento } M = 540 \times 0,55 = 297 \text{ kNm} \rightarrow \sigma = 297 \times 10^6 / (2,29 \times 10^7) = 13 \text{ MPa} < 338 \text{ MPa} \rightarrow \Delta = 0,04$$

$$\text{la tensione ideale risulta} \quad \rightarrow \sigma_{\text{id}} = 45 \text{ MPa} < 328 \text{ MPa} \quad \rightarrow \Delta = 0,14$$

- Sezione B-B:

$$\text{taglio } V = 540 \text{ kN} \quad \rightarrow \tau_{\text{media}} = 540 \times 1000 / (700 \times 30) = 25 \text{ MPa} < 190 \text{ MPa} \rightarrow \Delta = 0,13$$

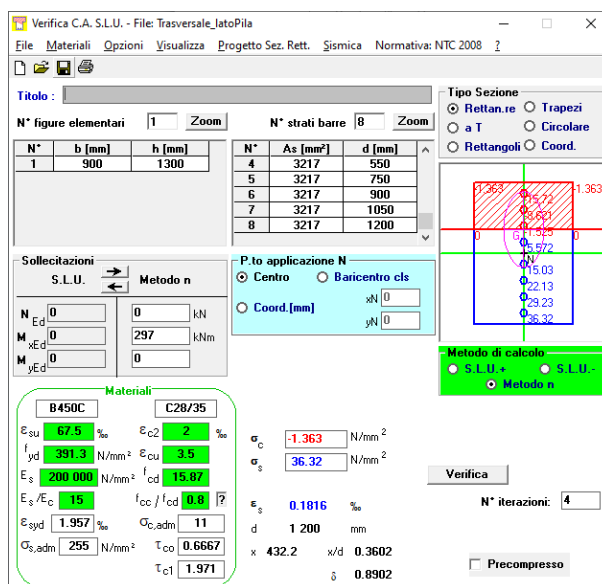
$$\text{momento } M = 540 \times 0,30 = 162 \text{ kNm} \rightarrow \sigma = 162 \times 10^6 / (1,17 \times 10^7) = 14 \text{ MPa} < 328 \text{ MPa} \rightarrow \Delta = 0,04$$

$$\text{la tensione ideale risulta} \quad \rightarrow \sigma_{\text{id}} = 42 \text{ MPa} < 328 \text{ MPa} \quad \rightarrow \Delta = 0,13$$

Le sezioni sono verificate.

Si verifica il collegamento del ritegno trasversale alla pila, soggetto ad un momento flettente di 297 kNm ed un taglio di 540 kN.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 93 di 111



La massima tensione di trazione nelle barre risulta pari a 36 MPa che corrisponde ad una forza di $36 \times 804 / 1000 = 29$ kN. Tale forza è inferiore alla resistenza di una barra, che risulta:

$$F_{Rd} = \pi \times d \times L \times f_{bd} = 3.14 \times 32 \times 1500 \times 2,2 = 332 \text{ kN}$$

dove:

d = diametro delle barre = 32 mm

L = lunghezza delle barre = 1500 mm

$$f_{bd} = 2,25 \times \mu_1 \times \mu_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,41 = 2,2 \text{ MPa (secondo EN 1992-1-1 § 8.4.2)}$$

La resistenza a taglio delle barre $\phi 32$ annegate nel getto risulta:

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{m5}} = \frac{0,5 \cdot f_{yk} \cdot A_s}{\gamma_{m5}} = 144 \text{ kN}$$

Dove:

$$A_s = \text{area di una barra} = 804 \text{ mm}^2$$

Materiale delle barre: B450C (con $f_{yk} = 450$ MPa ed $f_{uk} = 540$ MPa)

Si considera un coefficiente $\gamma_{m5} = 1,5$ ($f_{yk} / f_{uk} = 0,833 > 0,8$)

A favore di sicurezza, si calcola la resistenza del collegamento considerando solamente le barre posizionate in prossimità dell'anima del composto saldato, pertanto la resistenza risulta pari a $144 \times 16 = 2304$ kN, ossia maggiore della forza sollecitante $V_{Ed} = 540$ kN. La verifica risulta pertanto soddisfatta ($\Delta = 0,23$).

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 94 di 111

10.14 VERIFICA DELLA SOLETTA

Le verifiche relative alla soletta di impalcato e dei pioli connettori saranno sviluppate nel Progetto Esecutivo di Dettaglio.

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 - OPERE CIVILI		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m		IB0U	1BEZZ	CL	VI0000	A	95 di 111

11. ANALISI DINAMICA

Le analisi svolte sono finalizzate alla determinazione della risposta della struttura in termini sia di coefficiente di amplificazione dinamica sia di accelerazione verticale, al passaggio di 7 tipologie di treno reale (A, B, C, D, E ed F) e di altre 10 tipologie di treno HSLM (A1-A10), al variare della velocità di avanzamento con incrementi ΔV di 10 km/h, dove:

- la velocità minima è pari a $V_{\min} = 20$ km/h (velocità quasi-statica)
- la velocità massima è pari a $V_{\max} = 1,2 \times V_0 = 300$ km/h, dove $V_0 = 250$ km/h è la velocità massima di progetto

11.1 DEFINIZIONE DEI CARICHI VIAGGIANTI

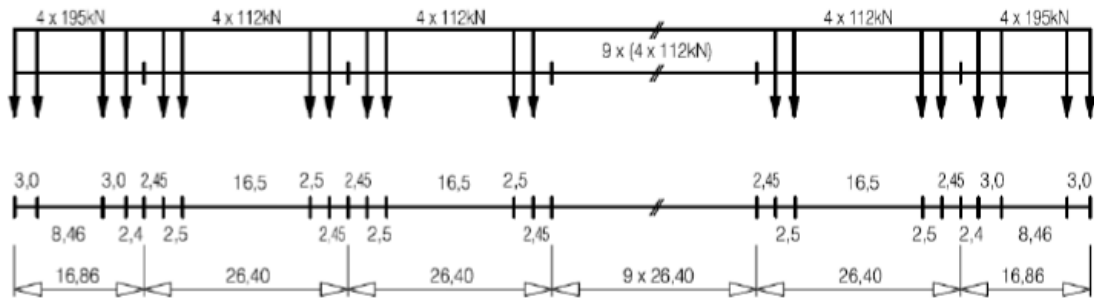
I carichi viaggianti sulla struttura sono i modelli di carico dei treni reali e dei treni HSLM-A (High Speed Load Model) descritti rispettivamente negli Allegati 1.1 e 1.3 del Manuale RFI che si riportano di seguito.

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 96 di 111

ALLEGATO 1.1 – MODELLI DI CARICO TIPO “TRENI REALI” PER ANALISI DINAMICHE

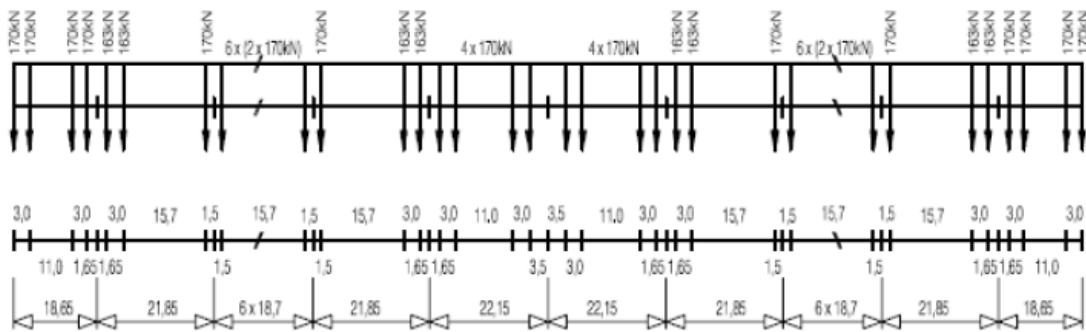
Tipo A

$\Sigma Q = 6936 \text{ kN}$ $V = 350 \text{ km/h}$ $L = 350,52 \text{ m}$ $q = 19,80 \text{ kN/m}$



Tipo B

$\Sigma Q = 8784 \text{ kN}$ $V = 350 \text{ km/h}$ $L = 393,34 \text{ m}$ $q = 22,30 \text{ kN/m}$



Tipo C

$\Sigma Q = 8160 \text{ kN}$ $V = 350 \text{ km/h}$ $L = 386,67 \text{ m}$ $q = 21,10 \text{ kN/m}$

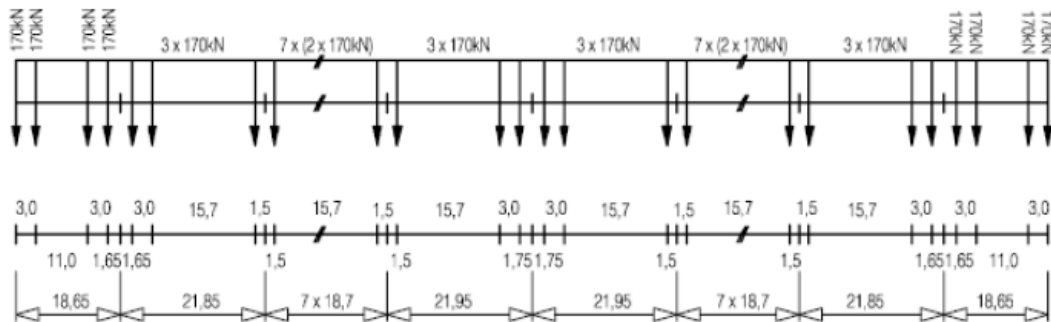
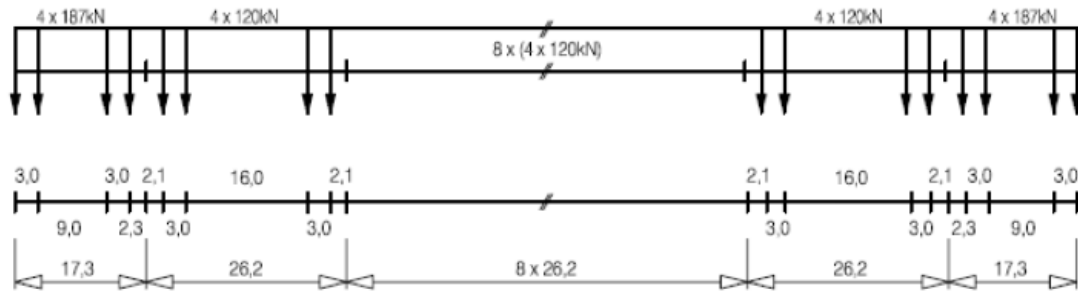


Fig. 97 Analisi dinamica – treni reali A, B, C

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 97 di 111

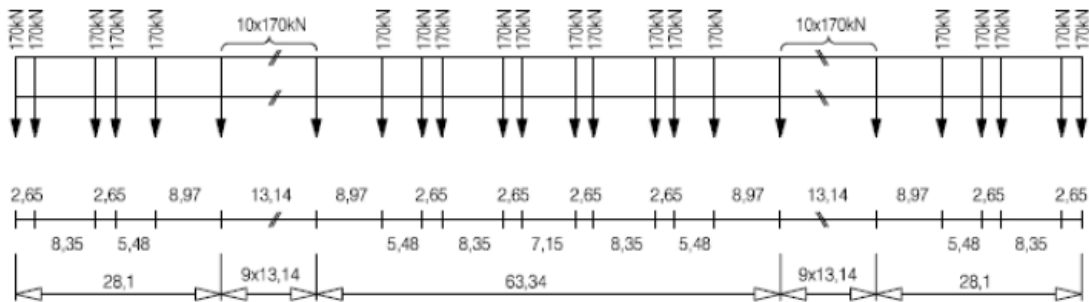
Tipo D

$$\sum Q = 6296 \text{ kN} \quad V = 350 \text{ km/h} \quad L = 295,70 \text{ m} \quad q = 21,30 \text{ kN/m}$$



Tipo E

$$\sum Q = 6800 \text{ kN} \quad V = 350 \text{ km/h} \quad L = 356,05 \text{ m} \quad q = 19,10 \text{ kN/m}$$



Tipo F

$$\sum Q = 7480 \text{ kN} \quad V = 350 \text{ km/h} \quad L = 258,70 \text{ m} \quad q = 28,90 \text{ kN/m}$$

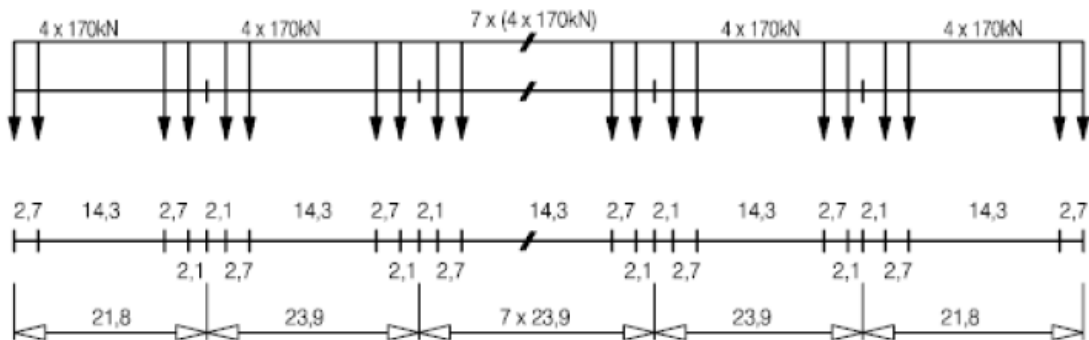
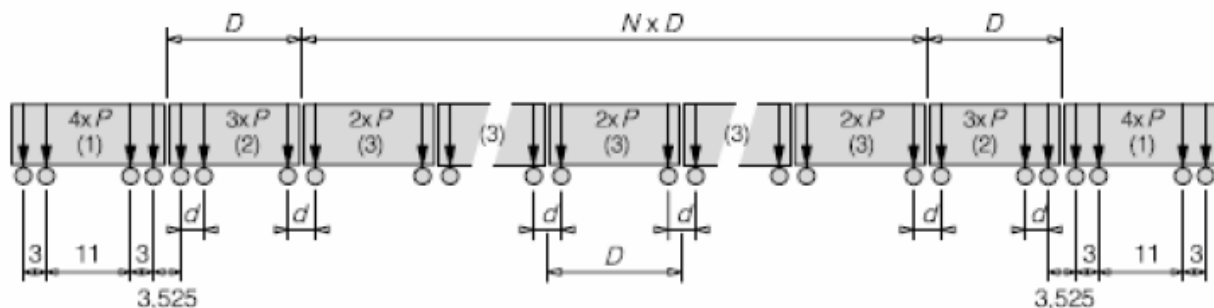


Fig. 98 Analisi dinamica – treni reali D, E, F

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 98 di 111



- Legenda:
- (1) Locomotore (identico per locomotore di testa e di coda)
 - (2) Vagoni terminali (identico per I vagoni di testa e di coda)
 - (3) Vagoni intermedi

Treno Universale	Numero di vagoni intermedi N	Lunghezza dei vagoni D [m]	Interasse fra gli assi del carrello d [m]	Forza concentrata P [kN]
A1	18	18	2,0	170
A2	17	19	3,5	200
A3	16	20	2,0	180
A4	15	21	3,0	190
A5	14	22	2,0	170
A6	13	23	2,0	180
A7	13	24	2,0	190
A8	12	25	2,5	190
A9	11	26	2,0	210
A10	11	27	2,0	210

Tab. A.1.3-1 - HSLM-A

Fig. 99 Analisi dinamica – convogli HSLM

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 99 di 111

11.2 VALIDAZIONE DEL MODELLO

Ai fini della validazione della procedura di analisi, si riportano i risultati dei due casi test di cui all'allegato 2 del Manuale RFI. In entrambi i casi, il convoglio ferroviario è costituito da un treno costituito da carri con 4 assi da 170 kN ciascuno, distanti secondo lo schema di figura sottostante.

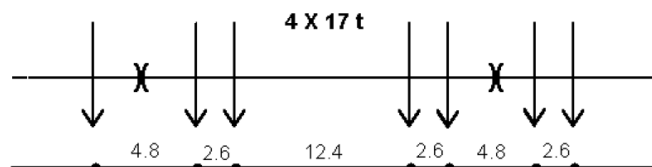


Figura 2-4 - Schema di carico per la simulazione nei casi test di Tabella 2-I.

Fig. 100 Analisi dinamica – schema di carico per i casi test del Manuale RFI

I dati del caso 1 sono i seguenti:

- Viadotto con luce $L = 11,30\text{m}$
- Smorzamento adimensionale relativo al critico $(r_1/r_{c1}) = 4\%$
- Massa al metro di impalcato = 7.730 kg/m
- Prima frequenza propria $f_1 = 7,15\text{ Hz}$

Il modello FEM utilizzato è illustrato in figura seguente. Il punto di controllo per il test è il nodo in mezzzeria.

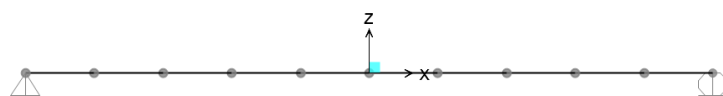


Fig. 101 Analisi dinamica – caso test 1: modello FEM

Nei grafici seguenti si riporta l'andamento dell'accelerazione verticale del punto di controllo (in m/s^2) e l'andamento del coefficiente di amplificazione dinamico ϕ'_{reale} in funzione della velocità di transito dei convogli (km/h).

APPALTATORE:	webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 100 di 111

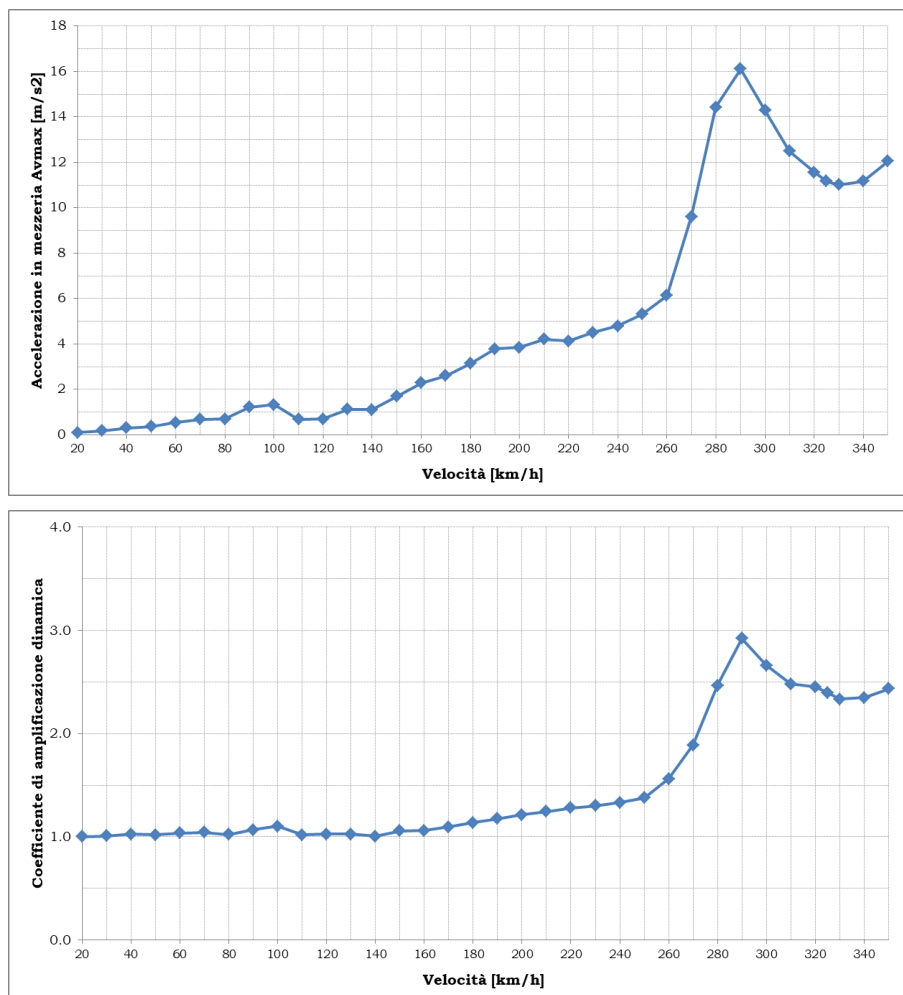


Fig. 102 Analisi dinamica – caso test 1: accelerazione verticale e coefficiente dinamico in funzione della velocità

I dati del caso 2 sono i seguenti:

- Viadotto con luce L = 20,0m
- Smorzamento adimensionale relativo al critico (r_1/r_{c1}) = 4%
- Massa al metro di impalcato = 13.000 kg/m
- Prima frequenza propria $f_1 = 4,04$ Hz

Il modello FEM utilizzato è illustrato in figura seguente. Il punto di controllo per il test è il nodo in mezzeria.

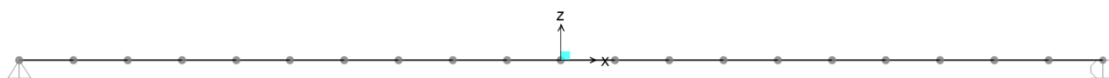


Fig. 103 Analisi dinamica – caso test 2: modello FEM

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 101 di 111

L'andamento dell'accelerazione verticale del punto di controllo (in m/s^2) e l'andamento del coefficiente di amplificazione dinamico ϕ'_{reale} in funzione della velocità di transito dei convogli (km/h) sono riportati nei grafici seguenti.

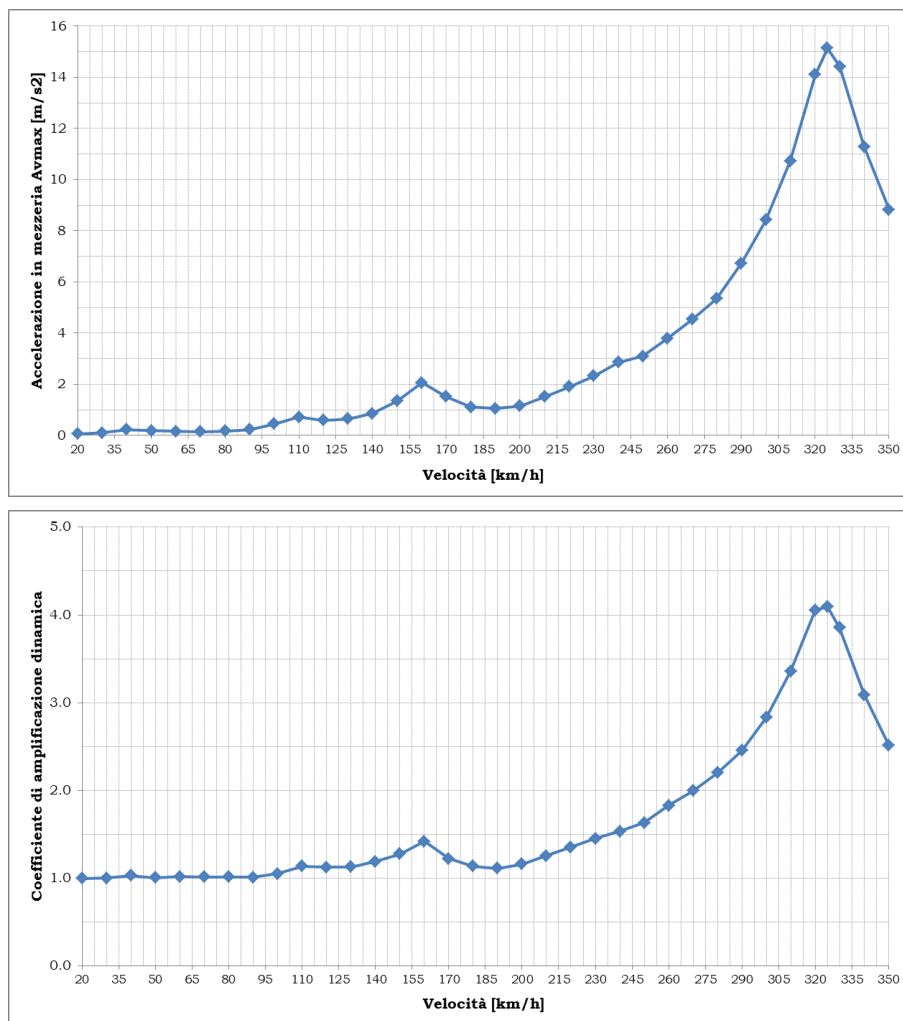


Fig. 104 Analisi dinamica – caso test 2: accelerazione verticale e coefficiente dinamico in funzione della velocità

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 102 di 111

11.3 RISULTATI DELL'ANALISI DINAMICA

Per valutare le condizioni di risonanza, in maniera semplificata, si ricorre ad un approccio modale come previsto dal Manuale RFI (Allegato 2).

I parametri calcolati nelle simulazioni per ogni treno e per ogni velocità di transito, e riportati nei grafici seguenti, sono:

- 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 calcolati alle diverse velocità;
- l'accelerazione massima verticale dell'impalcato A_{Vmax} , che deve risultare inferiore a 3,5 m/s²;
- il coefficiente dinamico reale φ_{TR} calcolato come: $\varphi_{TR} = \max(\varphi'_{Reale,f}; 1 + \varphi') + \varphi''^*$

con $\varphi''^* = \varphi''$ per linee con normale standard manutentivo. In particolare, il coefficiente φ'' è valutato in accordo alla formula 2.5.1.4.2.5.2.6 del Manuale RFI, da cui risulta:

$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \left[56e^{-\left(\frac{L_{\Phi}}{10}\right)^2} + 50 \left(\frac{L_{\Phi} n_0}{80} - 1 \right) e^{-\left(\frac{L_{\Phi}}{20}\right)^2} \right] = 0,06 \text{ (con } \alpha = 1 \text{ per } v > 22 \text{ m/s ed } L_{\Phi} = 23,04\text{m)}$$

Lo smorzamento strutturale adottato, in conformità ai valori riportati in tabella 2.5.1.4.2.6.3.1.1 del Manuale RFI, corrisponde ad un fattore di smorzamento $\zeta = 1,5\%$ (per ponti con attacco diretto).

Tipologia di ponte	ζ [%] Smorzamento adimensionale rispetto al critico
Ponti con attacco diretto	1,5
Ponti con armamento su ballast	4

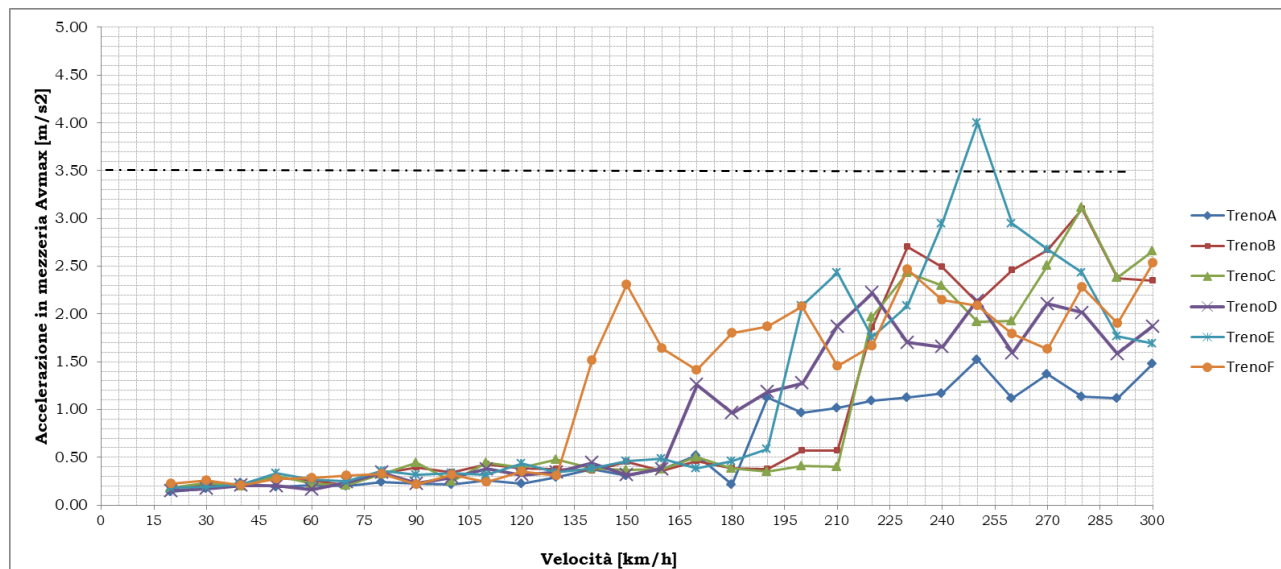
Tabella 2.5.1.4.2.6.3.1-1- Valori di smorzamento da considerare nel progetto

Il punto di riferimento per il calcolo dei parametri sopra descritti è sulla trave principale nella sezione di mezzeria dell'impalcato.

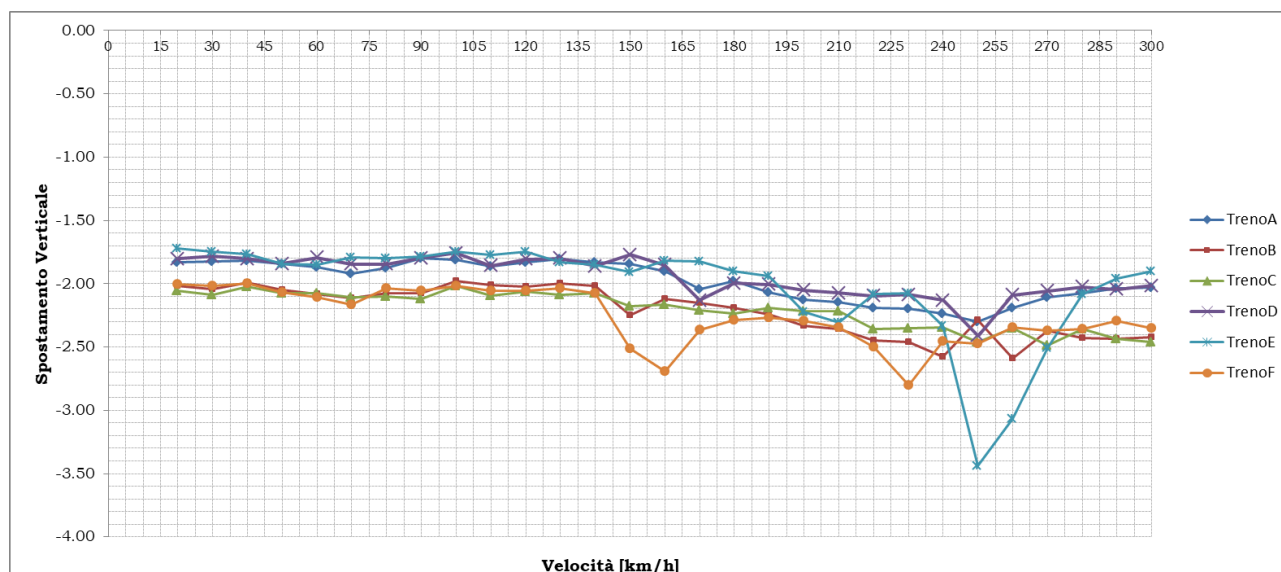
APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 103 di 111

11.3.1 Treni Reali tipo A – F

Il grafico seguente riporta l'accelerazione verticale massima (in m/s^2) del ponte prodotta dal transito dei treni reali tipo A-F in funzione della velocità di transito (da 20 a 300 km/h). L'accelerazione massima si calcola per il transito del treno tipo F ad una velocità di 300 km/h e risulta pari a $4,0 m/s^2$.



Gli spostamenti massimi calcolati per il transito dei treni reali sono riportati nel grafico seguente in funzione della velocità di transito. Lo spostamento massimo risulta pari a $-3,4 mm$ ed è prodotto dal transito del treno tipo E alla velocità di 250 km/h.



APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 107 di 111

11.3.3 Considerazioni finali e verifica delle prescrizioni del Manuale RFI

Dai risultati delle analisi dinamiche effettuate emerge che il passaggio del modello di carico Treno F provoca la maggiore amplificazione dinamica, con un coefficiente $\varphi'_{\text{Reale,f}} = 2,0$, da cui si ottiene $\varphi_{\text{TR}} = 2,06$.

Per quanto riguarda l'accelerazione massima verticale dell'impalcato, il manuale RFI precisa che *"la massima accelerazione di picco deve essere considerata un requisito per la sicurezza del traffico ferroviario in quanto necessaria a prevenire l'instabilità del binario per de-compattazione del ballast"* (§2.5.1.4.2.6. del Manuale RFI).

Nel caso in esame non è previsto armamento su ballast ma sono previste lastre prefabbricate che, a favore di sicurezza, vengono assimilate ad un armamento diretto, sebbene siano appoggiate su soletta in c.a. e non direttamente sulle travi metalliche. Per tale motivo, la limitazione imposta dal Manuale RFI non risulta applicabile al caso in esame.

Anche la normativa italiana fornisce un valore limite solamente per ponti con armamento su ballast (Fig. 105), in mancanza di ulteriori specificazioni. Si fa riferimento pertanto alla normativa europea, che prescrive lo stesso limite di $3,5 \text{ m/s}^2$ per armamento su ballast ed il limite di 5 m/s^2 in caso di armamento diretto (Fig. 106).

5.2.3. 2.2.1 Stati limite di esercizio per la sicurezza del traffico ferroviario

Accelerazioni verticali dell'impalcato

Questa verifica è richiesta per opere sulle quali la velocità di esercizio è superiore ai 200 km/h o quando la frequenza propria della struttura non è compresa nei limiti indicati nella Fig. 5.2.7. La verifica, quando necessaria, dovrà essere condotta considerando convogli reali.

In mancanza di ulteriori specificazioni, per ponti con armamento su ballast, non devono registrarsi accelerazioni verticali superiori a $3,5 \text{ m/s}^2$ nel campo di frequenze da 0 a 20 Hz.

Fig. 105 – Estratto dalle NTC 2018

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 108 di 111

A2.4.4.2 Criteria for traffic safety

A2.4.4.2.1 Vertical acceleration of the deck

(1)P To ensure traffic safety, where a dynamic analysis is necessary, the verification of maximum peak deck acceleration due to rail traffic actions shall be regarded as a traffic safety requirement checked at the serviceability limit state for the prevention of track instability.

(2) The requirements for determining whether a dynamic analysis is necessary are given in EN 1991-2, 6.4.4.

(3)P Where a dynamic analysis is necessary, it shall comply with the requirements given in EN 1991-2, 6.4.6.

NOTE Generally only characteristic rail traffic actions in accordance with EN1991-2, 6.4.6.1 need to be considered.

(4)P The maximum peak values of bridge deck acceleration calculated along each track shall not exceed the following design values:

- i) γ_{br} for ballasted track;
- ii) γ_{df} for direct fastened tracks with track and structural elements designed for high speed traffic

for all members supporting the track considering frequencies (including consideration of associated mode shapes) up to the greater of:

- i) 30 Hz;
- ii) 1,5 times the frequency of the fundamental mode of vibration of the member being considered;
- iii) the frequency of the third mode of vibration of the member.

NOTE The values and the associated frequency limits may be defined in the National Annex. The recommended values are:

$$\gamma_{br} = 3,5 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma_{df} = 5 \text{ m/s}^2$$

Fig. 106 – Estratto dall'allegato A2 della EN 1990

Come si evince dai grafici riportati ai paragrafi precedenti, le accelerazioni verticali dell'impalcato aumentano per velocità di transito dei treni superiori a 230 km/h (quindi prossime alla velocità massima di progetto) con un picco pari a $4,4 \text{ m/s}^2$ a 250 km/h. Tale valore risulta comunque inferiore al limite massimo previsto dalla normativa europea per i ponti ferroviari con armamento diretto (5 m/s^2).

APPALTATORE: webuild  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 109 di 111

In ottemperanza alla verifica imposta al punto 2.5.1.4.2.6 del manuale RFI deve essere garantito quanto segue:

$$\varphi_{TR} \cdot \left(\begin{array}{l} HSLM \\ oppure \\ RT \end{array} \right) \leq \Phi \cdot \left(\begin{array}{l} \alpha \cdot LM71 + \alpha \cdot SW / 0 \\ oppure \\ SW / 2 \end{array} \right) \quad (2.5.1.4.2.6.3)$$

dove:

- HSLM è il modello di carico di "treno reale" per linee ad alta velocità definito in allegato 1.3;
- RT è il carico dovuto a tutti i treni reali definiti nell'allegato 1.1;
- $(LM71 + SW/0)$ rappresenta il modello di carico più sfavorevole fra i due modelli;
- Φ è il coefficiente di incremento dinamico definito in 2.5.1.4.2.5.

Come parametro per la comparazione degli effetti dell'amplificazione dinamica mediante l'utilizzo dei coefficienti reali (valutati in questo capitolo) e quelli definiti nel manuale RFI, si fa riferimento alla sollecitazione di momento flettente M3 calcolata nella sezione di riferimento di mezzzeria. Trattandosi di una sezione in campata si confronta il momento positivo calcolato nella sezione di controllo per ciascuna velocità di transito di ciascun treno HSLMA. Il momento riportato nel grafico seguente è moltiplicato per il rispettivo coefficiente φ_{TR} . Nel medesimo grafico sono riportati i momenti massimi e minimi prodotti dai modelli di carico LM71 ed SW2 nella sezione di riferimento. Il coefficiente Φ adottato per i modelli di carico teorici è quello relativo alle verifiche globali delle travi principali e pari a $\Phi = 1,26$ (definito nel §8.48.4) mentre il coefficiente α vale $\alpha = 1.1$ per il treno di carico LM71 (§8.3).

Il momento massimo risulta inferiore al momento calcolato con i modelli di carico teorici.

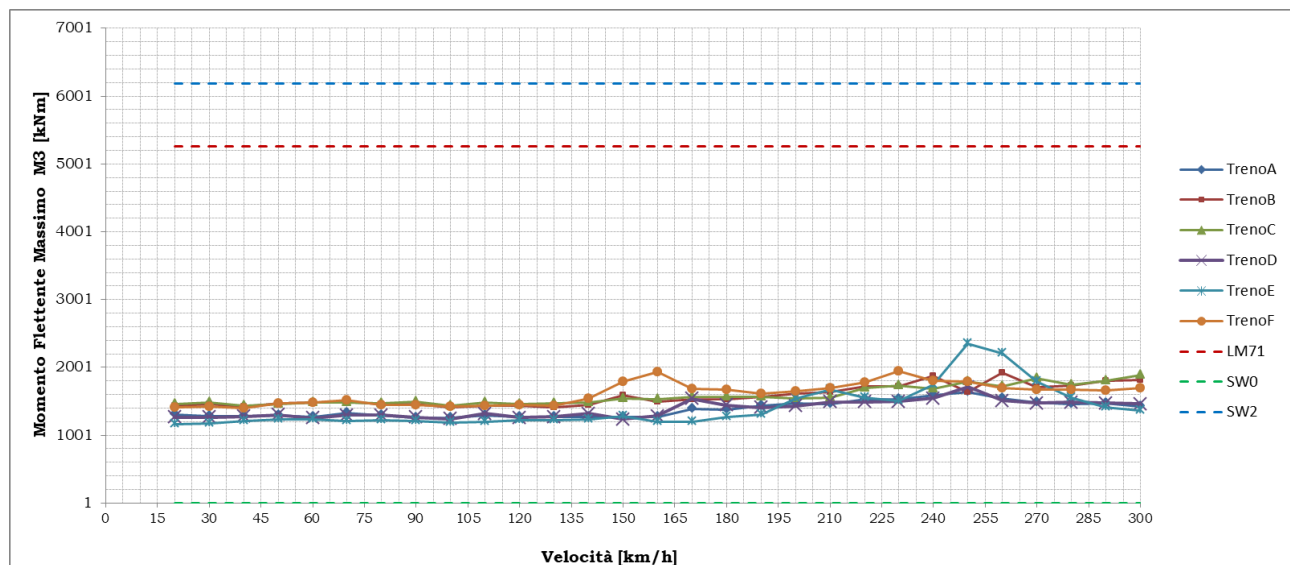


Fig. 107 Analisi dinamica – Momento M3 prodotti dai treni reali A-F e dai treni teorici LM71, SW0, SW2 nella sezione di controllo

APPALTATORE: webuild   Implenia	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo carpenteria metallica - IMPALCATO L = 23,04m	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0000	REV. A	FOGLIO. 110 di 111

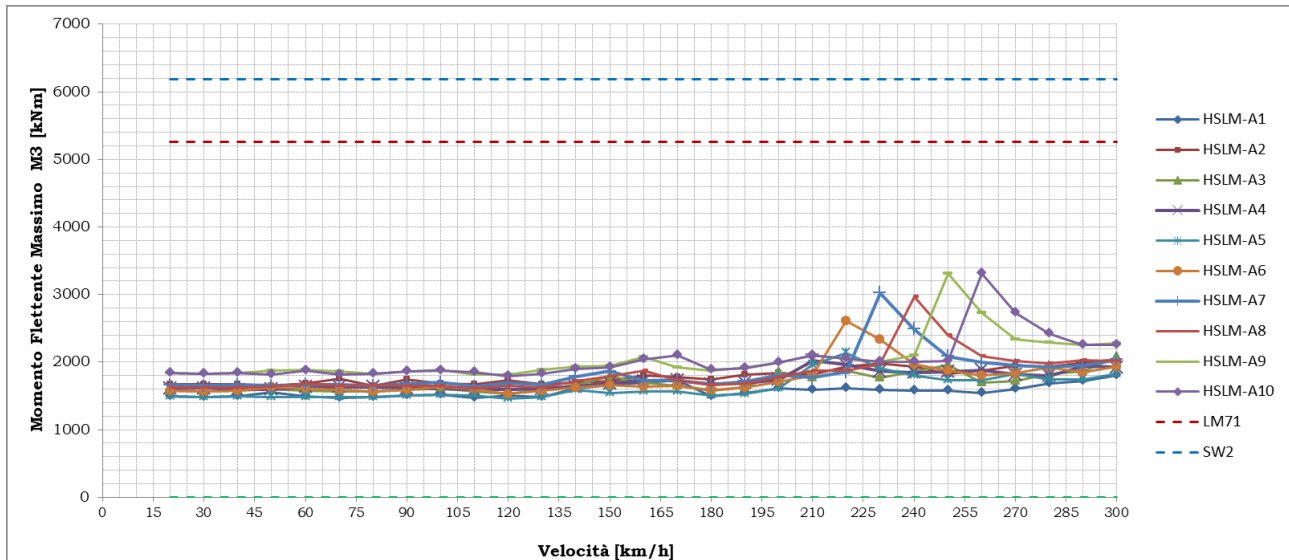


Fig. 108 Analisi dinamica – Momento M3 prodotto dai treni HSLM e dai treni teorici LM71, SW0, SW2 nella sezione di controllo