

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

### PROGETTO DEFINITIVO

### POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA

### INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA

### CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE

Relazione di calcolo impalcato

SCALA:

-

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

I R 0 B 0 1 D 1 0 C L I V 0 1 0 9 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli <i>L. Dinelli</i>	Luglio 2020	S. Paoloni <i>S. Paoloni</i>	Luglio 2020	T. Paoletti <i>T. Paoletti</i>	Luglio 2020	L. Berardi Luglio 2020 

File : IR0B02D10CLIV0109001A.doc

n. Elab.:

## Indice


1	INTRODUZIONE .....	4
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA .....	5
3	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	8
3.1	NORMATIVA .....	8
3.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	9
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	10
5	UNITA' DI MISURA .....	12
6	MATERIALI .....	13
6.1	CALCESTRUZZO .....	13
6.2	ACCIAIO PER ARMATURE .....	13
6.3	ACCIAIO DELLA CARPENTERIA METALLICA.....	14
7	IMPALCATO.....	15
7.1	ANALISI DEI CARICHI.....	15
7.1.1	<i>Carichi Permanenti</i> .....	15
7.1.2	<i>Sovraccarico Accidentale</i> .....	18
7.1.3	<i>Azioni longitudinali di frenamento</i> .....	20
7.1.4	<i>Carico della Neve</i> .....	20
7.1.5	<i>Variazioni termiche</i> .....	22
7.1.6	<i>Azione del Vento</i> .....	23
7.1.7	<i>Azioni sui guard-rail, urto di veicoli in svio</i> .....	25
7.1.8	<i>Azione Sismica</i> .....	26
7.2	COMBINAZIONI DI CARICO.....	28
7.3	ANALISI DEL MODELLO DI CALCOLO.....	32

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	3 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

7.4	VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....	34
7.4.1	<i>Verifiche delle travi principali</i> .....	34
7.4.2	<i>VERIFICA DELLO SBALZO</i> .....	39
7.5	VERIFICA DELL'INFLESSIONE DELL'IMPALCATO NEL PIANO VERTICALE .....	44
8	DIMENSIONAMENTO GIUNTI E APPARECCHI DI APPOGGIO .....	54
8.1	ESCURSIONE LONGITUDINALE GIUNTI E VARCHI.....	54
8.1.1	<i>Lato spalla MOBILE</i> .....	57
8.1.2	<i>Lato spalla FISSA</i> .....	58
8.2	APPARECCHI DI APPOGGIO .....	59
9	RITEGNI E BAGGIOLI .....	61
9.1	RITEGNI .....	61
9.2	BAGGIOLI.....	64

	<b>PROGETTO DEFINITIVO          POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA          INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL          PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</b>					
<b>CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE</b>  <b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA  IR0B	LOTTO  02	CODIFICA  D10	DOCUMENTO  CL IV0109 001	REV.  A	FOGLIO  4 di 66

## 1 INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto Potenziamento della linea Foligno–Terontola, rientrano gli interventi di semplificazione e velocizzazione ed upgrade tecnologico presso la stazione di Ellera. Le attività prevedono la velocizzazione degli itinerari in deviata, l'adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione e l'upgrading tecnologico dell'impianto esistente ACEI in un più moderno apparato ACC.

Il Programma di Esercizio fornito come input prevede interventi di semplificazione e velocizzazione dei deviatoli dell'impianto. In particolare si effettuano le seguenti lavorazioni:

- Sostituzione delle comunicazioni esistenti a 30 km/h con comunicazioni a 60 km/h lato Foligno. La sostituzione era prevista anche per i deviatoli lato Terontola ma è stato deciso successivamente da RFI di mantenere l'attuale velocità per le comunicazioni lato Terontola
- Realizzazione di tronchini di indipendenza per i binari di precedenza
- Ampliamento del marciapiede al servizio dei binari II e futuro III, accessibile attraverso un nuovo sottopasso, e adeguamento a STI del marciapiede esistente
- Dismissione dei binari di scalo lato F.V. e della relativa comunicazione di accesso posta sul I binario

Per la stazione di Ellera è inoltre previsto, come detto in precedenza, l'upgrade tecnologico dell'attuale apparato (con ACC telecomandabile) e conseguente riconfigurazione del Posto Centrale.

L'inizio dell'intervento è previsto alla progressiva Km 49+050 circa e termina alla progressiva Km 49+900 circa.

È prevista la modifica dell'attuale PRG di stazione allo schematico comunicato dal Cliente, la realizzazione di un nuovo sottopasso e dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), innalzamento del marciapiede del binario I H=55cm e realizzazione di un nuovo marciapiede ad isola H=55cm. Inoltre verrà prevista la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale.

Verranno previste due nuove pensiline ferroviarie su ciascun marciapiede a copertura del nuovo sottopasso.

Le suddette modifiche al PRG di stazione comportano la necessità di demolire e ricostruire il cavalcaferrovia di Via Corcianese.

Verrà previsto un nuovo Fabbricato Tecnologico per ospitare la cabina ACC, i locali tecnologici e la Cabina MT/BT, quest'ultima necessaria per una migliore gestione dei carichi elettrici presenti in stazione.

Saranno previsti infine, dal punto di vista impiantistico:

- illuminazione punte scambi;
- impianti RED;
- illuminazione scale, sottopasso, banchine
- impianti IaP e DS

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	5 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

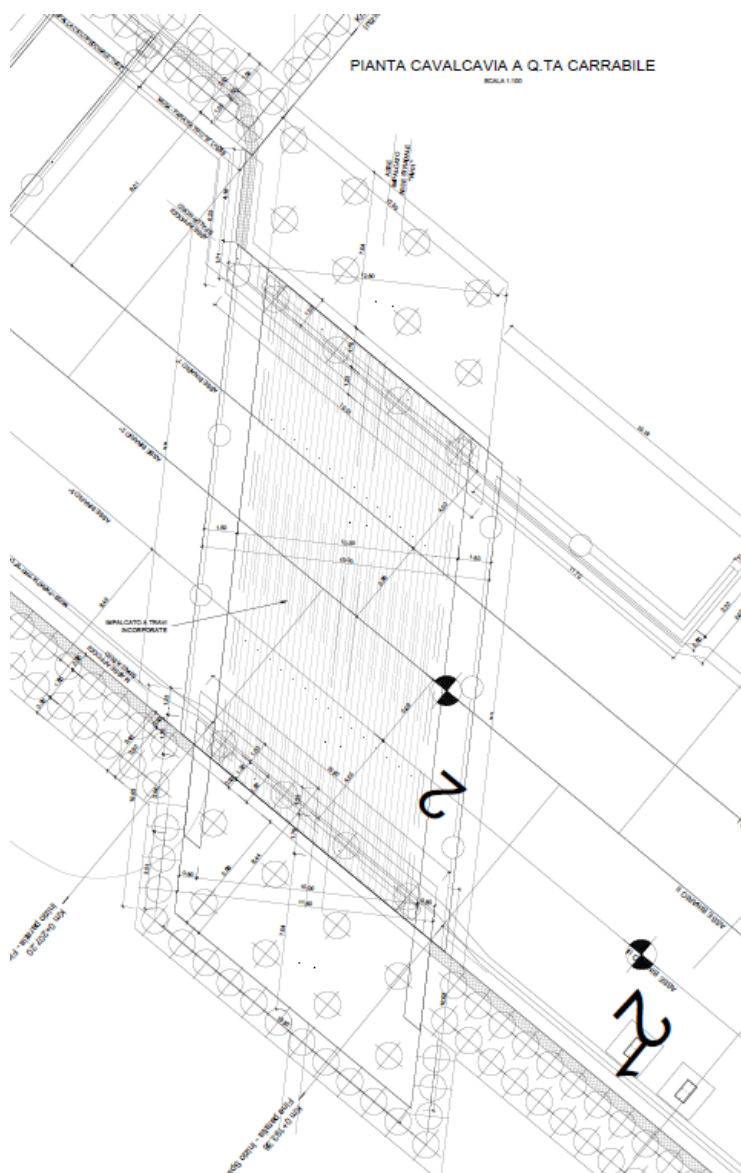
## 2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La presente relazione riguarda il dimensionamento e la verifica del nuovo cavalcaferrovia al km 49+263.45 da realizzare in sostituzione di quello esistente.

L'asse del cavalcaferrovia forma un angolo di circa 60° con l'asse ferroviario, tutte le analisi sono state svolte considerando una sezione in asse con il cavalcaferrovia.

L'impalcato ad unica campata di circa 21.0 m è costituito da una sezione in cemento armato a travi incorporate (15 HEB900).

Di seguito si riportano le immagini della pianta e della sezione trasversale.

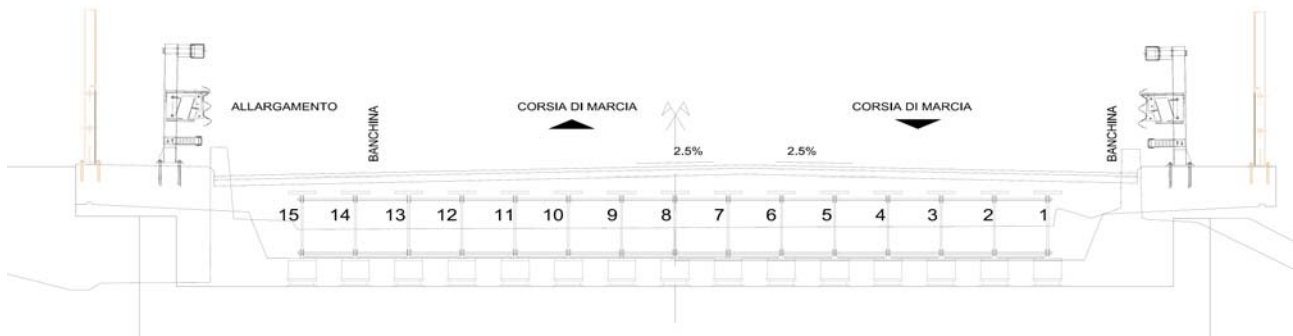


*Figura 1 - Pianta*

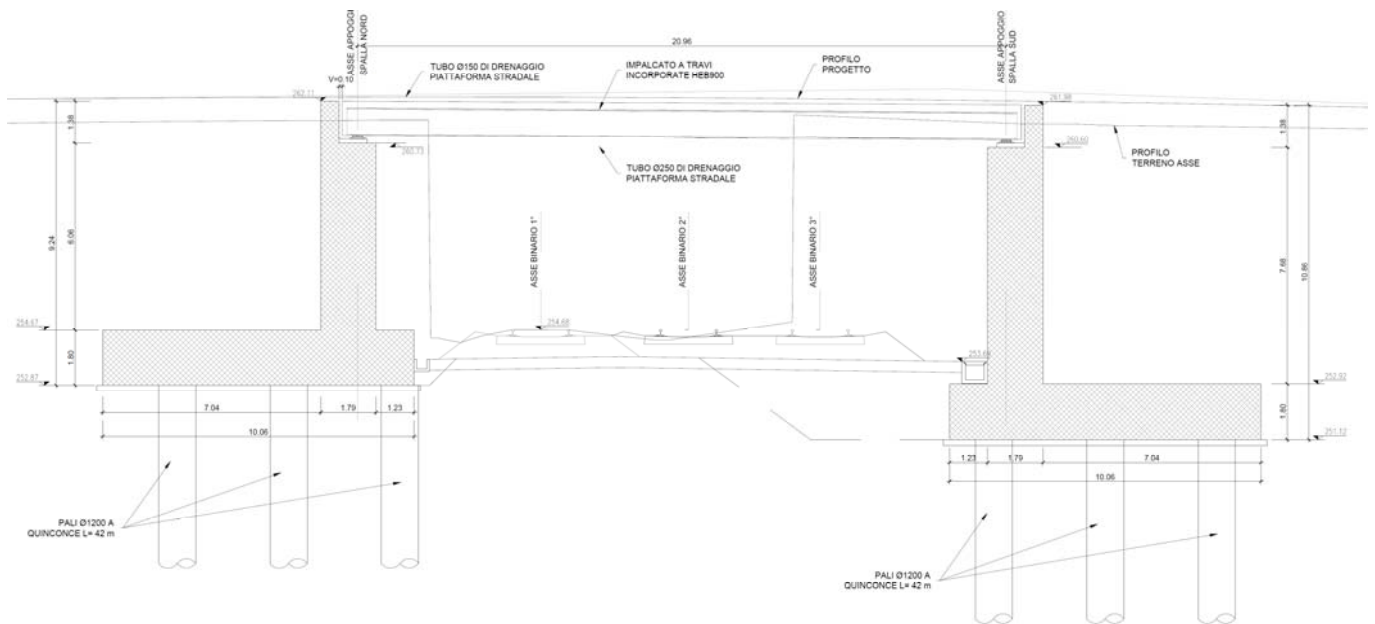
**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	6 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**



*Figura 2 – Sezione trasversale*

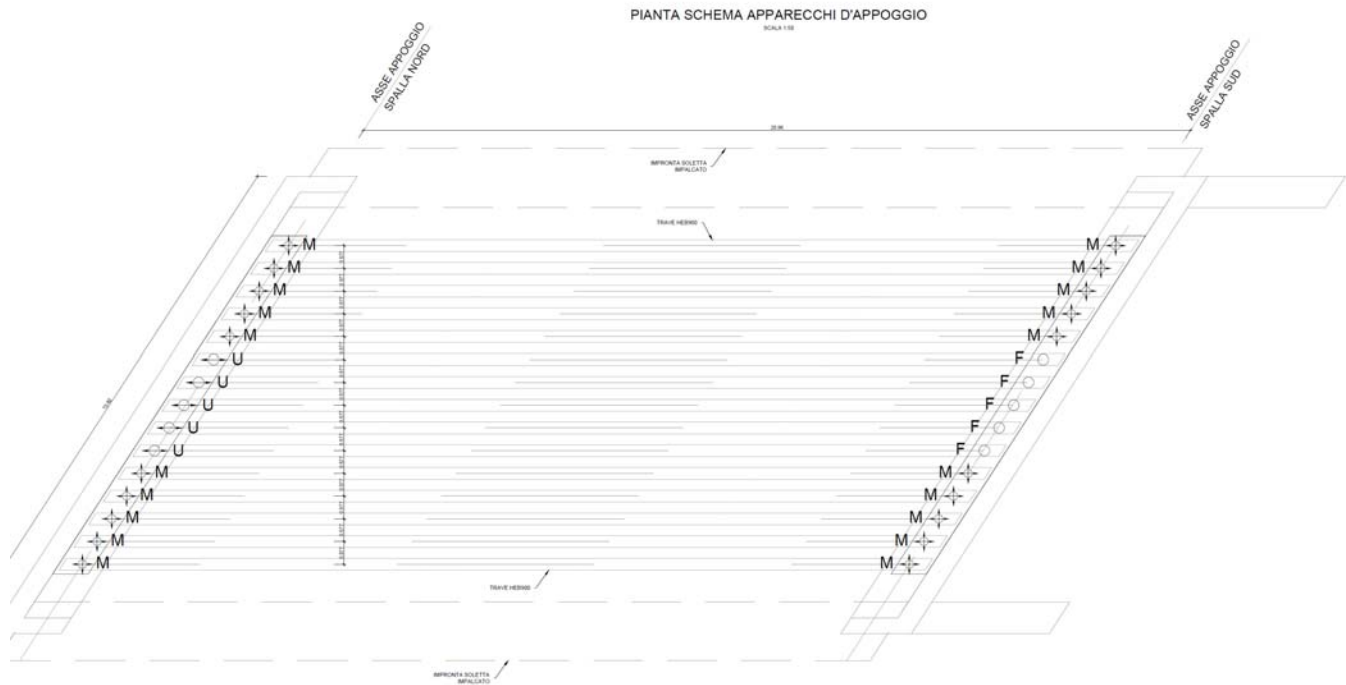


*Figura 3 – Sezione longitudinale*

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	7 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**



*Figura 4 – disposizione degli apparecchi di appoggio*

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA</b> <b>INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL</b> <b>PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</b></p>					
<p><b>CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE</b></p> <p><b>Relazione di calcolo impalcato</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IR0B</p>	<p>LOTTO</p> <p>02</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>CL IV0109 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>8 di 66</p>

### 3 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normativa

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le seguenti normative.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture ( RFI DTC SI PS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016 )
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A– rev 30/12/2016)
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea
- Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1

Si è tenuto inoltre conto dei seguenti documenti:

- *UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.*
- *UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi variabili.*
- *UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.*





#### 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

L'interpretazione delle prove in sito e di laboratorio ha condotto alla definizione dei seguenti valori dei parametri meccanici per i terreni tipo individuati:

Unità	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_{op}$	$k$
	kN/m <sup>3</sup>	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(m/s)
<b>T1</b>	19.0	32÷35	0	-	95 ÷ 200	20 ÷ 50	1E-04 ÷ 1E-05
<b>T2</b>	19.0	34÷38	0	-	175 ÷ 310	40 ÷ 75	1E-04 ÷ 1E-05
<b>LA</b>	20.0	22÷24	5 ÷ 10	100 ÷ 250	350 ÷ 500	85 ÷ 120	1E-07 ÷ 1E-08

Si trascura lo spessore del riporto essendo questo esiguo e superficiale

La stratigrafia è stata dedotta in base ai risultati del sondaggio S4 situato proprio in corrispondenza del fosso.



Figura 5 - Ubicazione indagini di fase PD - Google Earth

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	11 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

I dati della falda libera indicano un livello piezometrico che si attesta a circa 7.0 m dal piano campagna.

strato	profondità da	profondità a
	m da pc	m da pc
R	0	1.0
T1	1.0	9.0
T2	9.0	24.0
LA	24.0	-

**Tabella 1 - Stratigrafia di calcolo Materiali in sito.**

Dal punto di vista sismico il terreno è classificato di tipo B.

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	12 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

## 5 UNITA' DI MISURA

Le unità di misura usate nella presente relazione sono:

- lunghezze [m]
- forze [kN]
- momenti [kNm]
- tensioni [MPa]

## 6 MATERIALI

### 6.1 CALCESTRUZZO

#### Calcestruzzo elevazione dell'impalcato C32/40

Classe di resistenza = C32/40

$\rho_c$  = peso specifico = 25.00 kN/m<sup>3</sup>

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 40.00 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica =  $0.83 \cdot R_{ck} = 33.2$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8 = 41.2$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm}$  = resistenza a trazione media =  $0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.10$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{cfm}$  = resistenza a traz. per flessione media =  $1.20 \cdot f_{ctm} = 3.72$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk}$  = resistenza a traz. per flessione caratt. =  $0.70 \cdot f_{cfm} = 2.60$  N/mm<sup>2</sup>

$E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e 0.40  $f_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 33642.8$  N/mm<sup>2</sup>

Classe minima di consistenza S4

Classe di esposizione XC4

Copriferro 40 mm

### 6.2 ACCIAIO PER ARMATURE

Tipo = B 450 C

$\rho_a$  = peso specifico = 78.50 kN/m<sup>3</sup>

$f_{y \text{ nom}}$  = tensione nominale di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{t \text{ nom}}$  = tensione nominale di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk \text{ min}}$  = minima tensione caratteristica di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk \text{ min}}$  = minima tensione caratteristica di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$(f_t/f_y)_{k \text{ min}}$  = minimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.15

$(f_t/f_y)_{k \text{ max}}$  = massimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.35

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	14 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

$(f_y/f_{y\text{ nom}})_k$  = massimo rapporto tra i valori nominali = 1.25

$(A_{gt})_k$  = allungamento caratteristico sotto carico massimo = 7.5 %

E = modulo di elasticità dell'acciaio = 206000 N/mm<sup>2</sup>

Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:

$\varnothing < 12$  mm → 4  $\varnothing$ ;

$12 \leq \varnothing \leq 16$  mm → 5  $\varnothing$ ;

$16 < \varnothing \leq 25$  mm → 8  $\varnothing$ ;

$25 < \varnothing \leq 40$  mm → 10  $\varnothing$ .

### **6.3 ACCIAIO DELLA CARPENTERIA METALLICA**

Acciaio S355 J0 EN 10025 per profilati e lamiere

Acciaio S355 J0 EN 10025 per travi ed elementi saldati

## 7 IMPALCATO

Il calcolo dell'impalcato è stato svolto utilizzando il programma di calcolo SAP2000 vers. 22, schematizzandolo con un modello tridimensionale.

Ai fini delle analisi dell'impalcato, sono stati sviluppati due modelli di calcolo, denominati nel prosieguo "Modello di Calcolo 1" e "Modello di Calcolo 2".

Entrambi i suddetti modelli di calcolo constano di soli elementi "frame", che formano un grigliato di travi.

Nel Modello di Calcolo 1", utilizzato ai fini delle verifiche di resistenza, le travi principali sono costituite dai soli profili HEB900, senza calcestruzzo collaborante.

Nel "Modello di Calcolo 2", utilizzato ai fini delle verifiche di deformabilità, le travi principali sono costituite dai profili HEB900 e dal calcestruzzo collaborante omogeneizzato ad acciaio.

### 7.1 ANALISI DEI CARICHI

#### 7.1.1 Carichi Permanenti

Peso proprio della pavimentazione $s=0.12$ m:	$g_1 = 2.16 \text{ kN/m}^2$
Peso proprio della soletta $s=0.2$ m:	$g_1 = 5.0 \text{ kN/m}^2$
Peso sbalzo in c.a.:	$g_1 = 25.0 \text{ kN/m}$
Peso parapetto/barriera di protezione in acciaio:	$g_1 = 1.0 \text{ kN/m}$
Peso guard-rail:	$g_1 = 1.0 \text{ kN/m}$

I pesi propri delle membrature presenti nel modello agli elementi finiti sono valutati in maniera automatica direttamente dal programma di calcolo (DEAD) mentre gli altri permanenti (PERM) sono inseriti come carichi uniformemente distribuiti su ciascuna trave principale in funzione della propria area d'influenza. Si considera inoltre un incremento del 5% del peso dell'impalcato per considerare il peso delle piastre e dei bulloni necessari per i vari collegamenti.

I carichi sono ripartiti sulle singole travi in acciaio in funzione dell'interasse e sulle travi di bordo sono applicati anche i momenti dovuti all'eccentricità del carico presente sullo sbalzo.

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	16 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

	sp	peso	p (kN/mq)	
				0.577
Pavimentazione	0.12	18	2.16	1.25
Soletta	0.2	25	5	2.89

4.13

Sbalzo	A	1.06	mq
	F <sub>z</sub>	26.6	kN/m
	e	1.47	m
	M	35.75	kNm/m

Barriera	F <sub>z</sub>	1	kN/m
	e	2.29	m
	M	2.29	kNm/m

Guard Rail	F <sub>z</sub>	1	kN/m
	e	1.43	m
	M	1.43	kNm/m

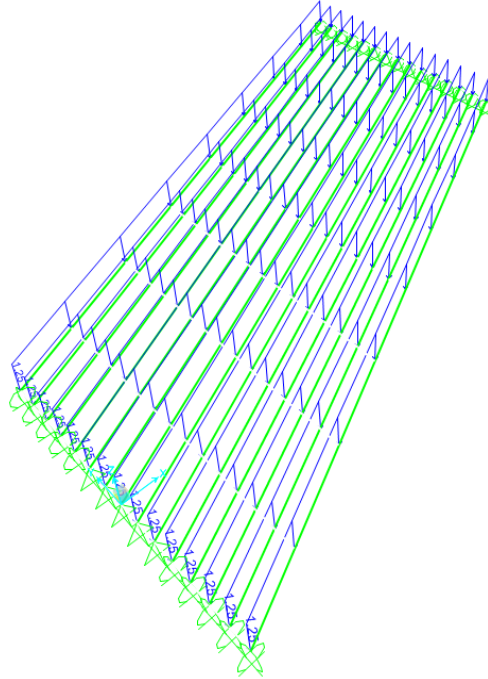
Tot	F <sub>z</sub>	27	kN/m
	M <sub>1</sub>	39.47	kNm/m



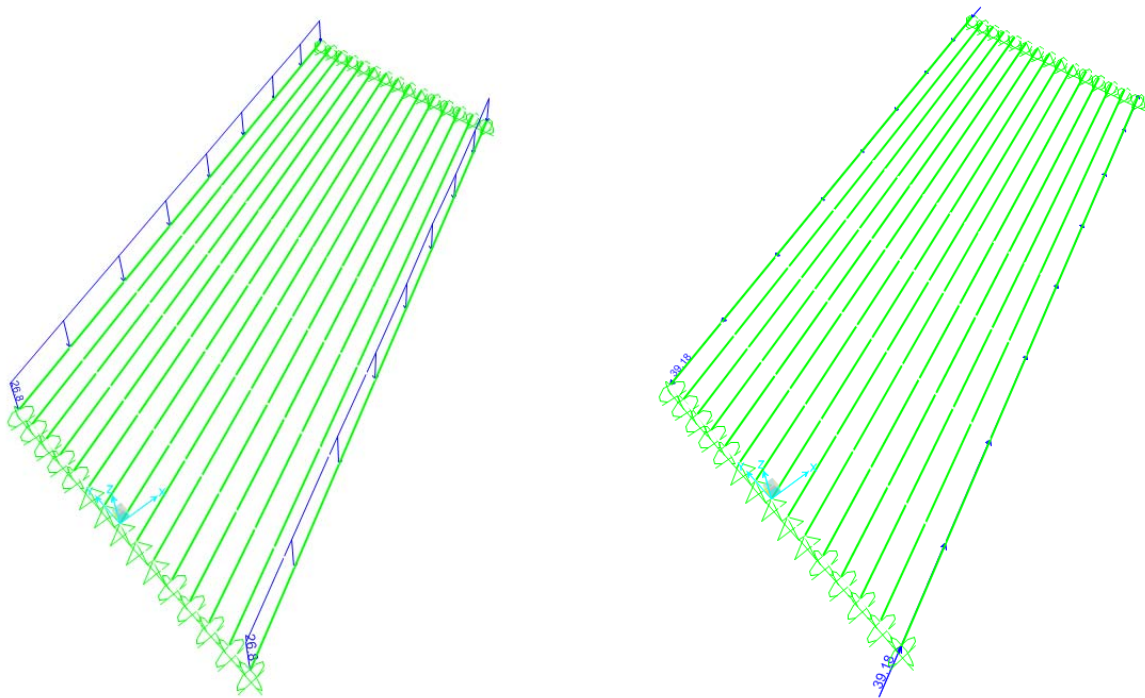
**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	17 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**



*Figura 6 – Applicazione dei carichi permanenti*



*Figura 7 – Applicazione dei carichi permanenti agli sbalzi (carico verticale e momento torcente)*

### 7.1.2 Sovraccarico Accidentale

In conformità al DM 17/01/2018 “NTC2008” si considerano sulla struttura (carreggiata  $w=10.0$  m) fino a tre colonne di carico convenzionali (ciascuna di ingombro trasversale convenzionale pari a 3.00 m) ed una parte rimanente di larghezza pari a  $w-(3.0 \cdot ni) = 1.0$ m.

Ai fini delle verifiche globali, allo schema di carico 1, illustrato in Figura 8, si associano per ciascuna corsia le seguenti intensità, comprensive degli effetti dinamici:

Posizione	Carico asse $Q_{ik}$	Carico distrib. $q_{ik}$
	(kN)	(kN/m <sup>2</sup> )
Corsia n. 1	300	9
Corsia n. 2	200	2.5
Corsia n. 3	100	2.5
Area rimanente	-	2.5

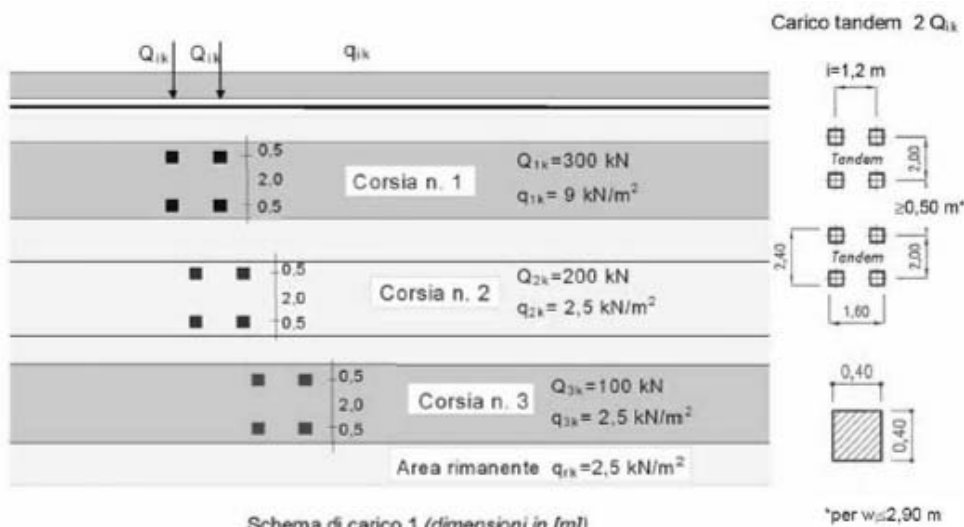
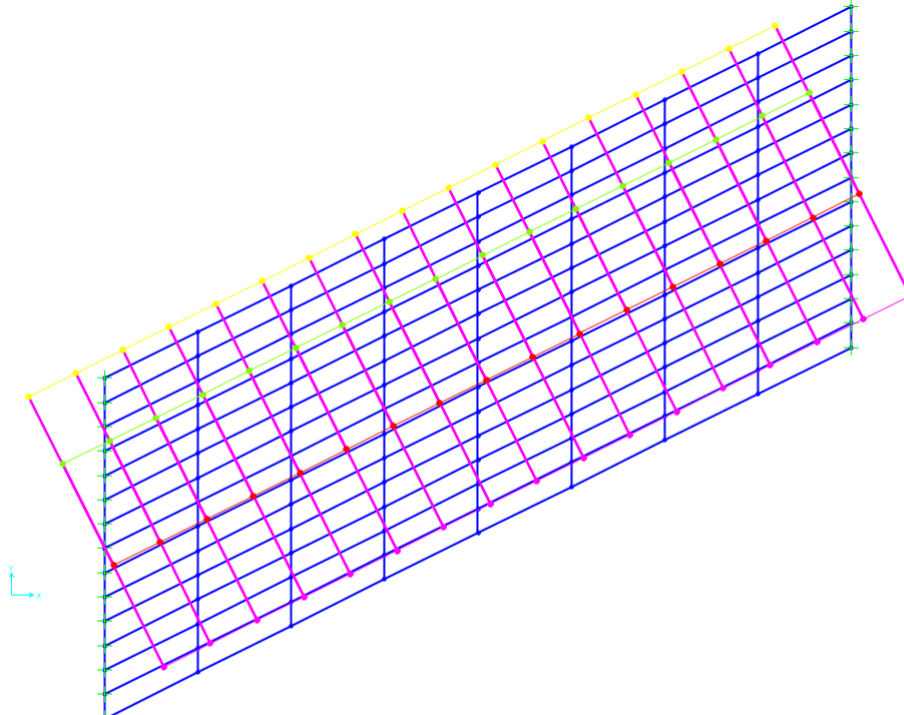


Figura 8 – Schema di carico 1

Il programma di calcolo strutturale utilizzato consente di definire l’asse di ogni singola “lane” e la relativa eccentricità rispetto alle aste del modello. In seguito, definiti i treni di carico “Corsia i” (per  $i=1, 2, 3, 4$ ) questi ultimi vengono fatti scorrere lungo le corsie tramite la funzione “Moving load”, per determinare le posizioni più gravose per ciascun elemento del modello.



*Figura 9 – Definizione delle “lane di carico”*

Le eccentricità delle corsie di carico da traffico rispetto all’asse centrale dell’impalcato vengono definite mediante le lane di carico (lane1, lane2, lane3, lane4).

Sono state previste tutte le permutazioni di disposizioni possibili dei carichi nelle 4 corsie di carico tramite il comando “Analysis Cases – Moving Load”.

**General Vehicle Data**

Vehicle Name: Q1k

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0.	One Point	
For Other Responses	0.	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports  
 Interior Vertical Support Forces  
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0.3048  
Lane Interior Edge: 0.6096

Miscellaneous Parameters

Use BD 37/01 (2002) for Uniform Load Length Effects  
 Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only  
Straddle Reduction Factor: \_\_\_\_\_

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		27.	Lane Width		300.	Two Points	2.
Leading Load	Infinite		27.	Lane Width		300.	Two Points	2.
Fixed Length	1.2		27.	Lane Width		300.	Two Points	2.
Trailing Load	Infinite		27.	Lane Width		300.	Two Points	2.

Add Insert Modify Delete

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Units: KN, m, C

OK Cancel


 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA</b> <b>INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL</b> <b>PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</b>					
	<b>CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE</b>  <b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA IR0B	LOTTO 02	CODIFICA D10	DOCUMENTO CL IV0109 001	REV. A

Figura 10 - Definizione azione da carico mobile Corsia1

Il carico costituito dalla folla compatta (cfr. Schema di carico 5) si considera agente sul marciapiede di larghezza  $L=0.75$  m; si assume intensità nominale  $5.0\text{kN/m}^2$ , comprensiva degli effetti dinamici, e valore di combinazione  $2.5\text{kN/m}^2$ . Tale carico è applicato solo su una trave di bordo per aumentare gli effetti torsionali.

Folla sbalzo	p	5 kN/mq
	$F_z$	3.5 kN/m
	e	1.88 m
	M	6.58 kNm/m

### 7.1.3 Azioni longitudinali di frenamento

In conformità a quanto previsto dalla normativa vigente l'azione longitudinale viene valutata come:

$$180\text{kN} \leq q_3 = 0.6 \cdot 2 \cdot Q_{1k} + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900\text{kN} \Rightarrow q_3 = 416.7\text{kN}$$




Poiché nel modello di calcolo tale azione deve essere riportata dal livello della superficie stradale alla quota del baricentro delle aste, si aggiunge il corrispondente momento di trasporto.

$$M_{q3} = q_3 \cdot d = 416.7 \cdot 0.75 = 312.53\text{kNm}$$

L'azione viene ripartita tra le travi ricadenti nella zona di influenza della corsia caricata.

### 7.1.4 Carico della Neve.

#### CALCOLO DELL'AZIONE DELLA NEVE

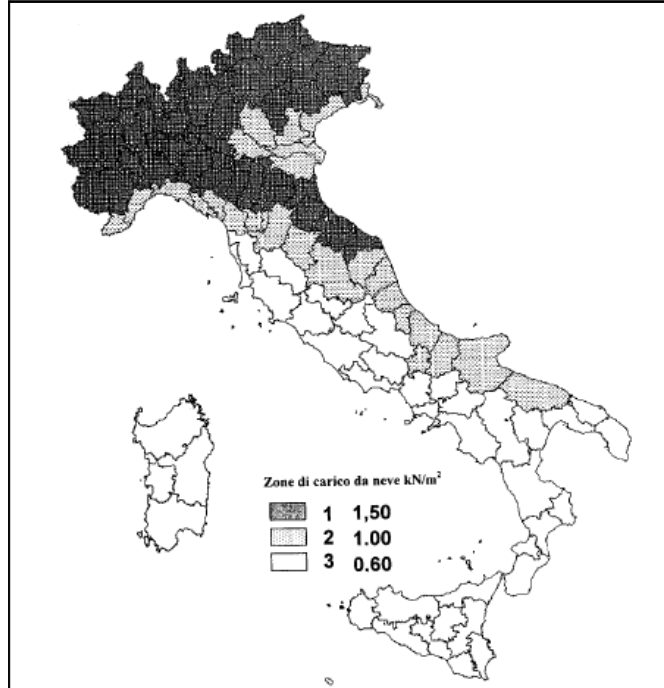
	<b>Zona I - Alpina</b> Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.	$q_{sk} = 1,50\text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2]\text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200\text{ m}$ $a_s > 200\text{ m}$
	<b>Zona I - Mediterranea</b> Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	$q_{sk} = 1,50\text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2]\text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200\text{ m}$ $a_s > 200\text{ m}$
	<b>Zona II</b> Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	$q_{sk} = 1,00\text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2]\text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200\text{ m}$ $a_s > 200\text{ m}$
	<b>Zona III</b> Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotona, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	$q_{sk} = 0,60\text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2]\text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200\text{ m}$ $a_s > 200\text{ m}$

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	21 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

$q_s$  (carico neve sulla copertura [N/mq]) =  $\mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$   
 $\mu_i$  (coefficiente di forma)  
 $q_{sk}$  (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])  
 $C_E$  (coefficiente di esposizione)  
 $C_t$  (coefficiente termico)



**Valore caratteristico della neve al suolo**

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	260
$q_{sk}$ (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1.10

**Coefficiente termico**

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1$ .

**Coefficiente di esposizione**

Topografia	Descrizione	$C_E$
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1

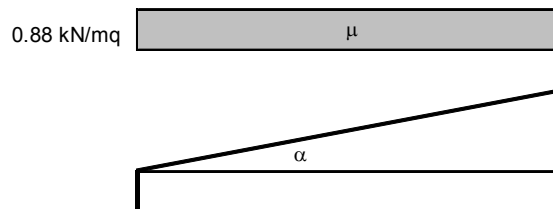
**Valore del carico della neve al suolo**

$q_s$ (carico della neve al suolo [kN/mq])	1.10
--	------

**Coefficiente di forma (copertura ad una falda)**

$\alpha$ (inclinazione falda [°])	0
-----------------------------------	---

$\mu$	0.8
-------	-----

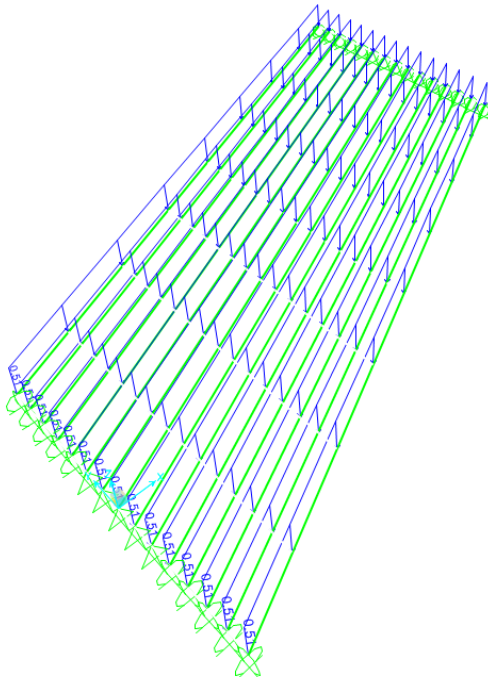


L'azione della neve viene applicata come un carico uniformemente distribuito sulle travi in funzione dell'interasse.

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	22 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**



*Figura 11 – Applicazione del carico della neve*

### 7.1.5 *Variazioni termiche*

Si trascura il contributo dovuto alle variazioni termiche differenziali tra intradosso ed estradosso dello stesso e si considera solo quello dovuto alle variazioni termiche uniformi ( $\Delta T = \pm 15^\circ$ ).

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	23 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

### 7.1.6 Azione del Vento

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
3	27	500	0.02
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			260
$T_R$ (Tempo di ritorno)			75
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$			
$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b$ ( $T_R = 50$ [m/s])			27.000
$\alpha_R$ ( $T_R$ )			1.02346
$v_b$ ( $T_R$ ) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s]			27.633



$p$  (pressione del vento [N/mq]) =  $q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

$q_b$  (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$c_e$  (coefficiente di esposizione)

$c_p$  (coefficiente di forma)

$c_d$  (coefficiente dinamico)

#### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	477.25
--------------	--------

#### Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

#### Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

#### Coefficiente di esposizione

#### Classe di rugosità del terreno

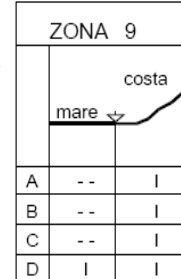
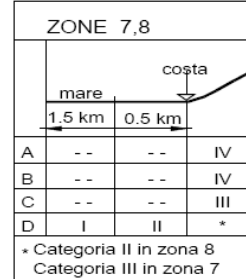
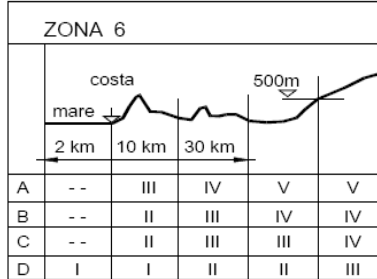
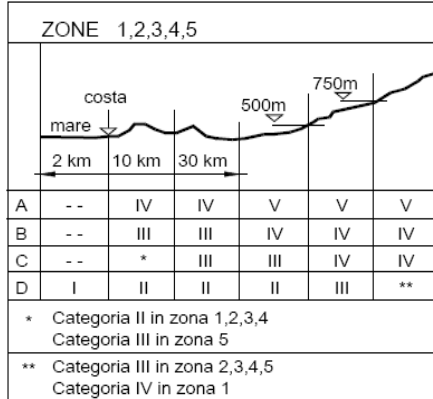
D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,.....)

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IR0B 02 D10 CL IV0109 001 A 24 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Categoria di esposizione



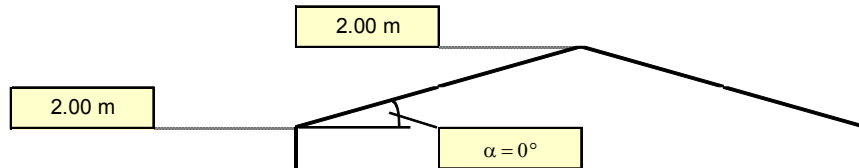
Zona	Classe di rugosità	$a_s$ [m]
3	D	260

$$C_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$C_e(z) = C_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

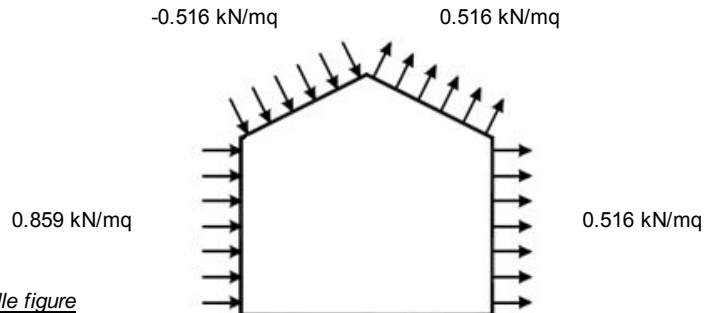
Cat. Esposiz.	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]	$c_t$
II	0.19	0.05	4	1

z [m]	$C_e$
$z \leq 4$	1.801
$z = 2$	1.801
$z = 2$	1.801



Combinazione più sfavorevole:

	p [kN/mq]
(1)	0.859
(2)	-0.516
(3)	0.516
(4)	0.516



**N.B.** Se  $p$  (o  $c_{pe}$ ) è > 0 il verso è concorde con le frecce delle figure

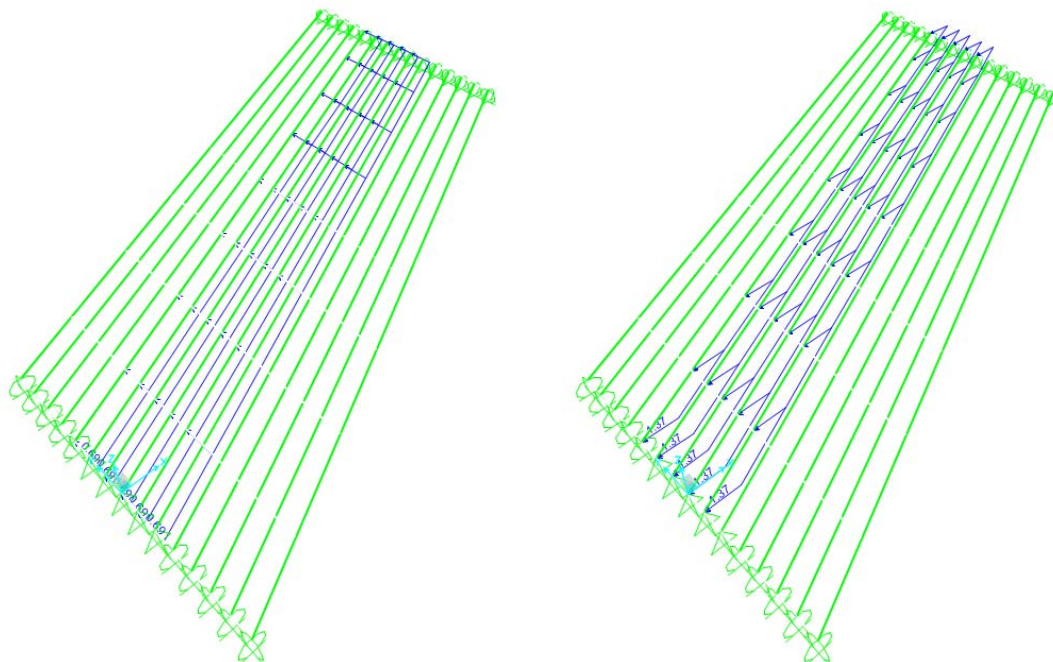
La superficie dei carichi transienti sul ponte esposta al vento deve essere assimilata ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale a cui si aggiunge l'impalcato per un'altezza totale pari a circa 4.0m. Il vento si applica quindi come un carico orizzontale ed un momento flettente pari a:

$$F_{vento} = 0.859 \cdot 4.0 \text{ m} = 3.436 \text{ kN/m}$$

$$M_{vento} = 3.436 \cdot (1.5 + 0.75) = 6.87 \text{ kNm/m}$$

L'azione del vento viene ripartita tra le travi ricadenti nella zona di influenza della corsia caricata.

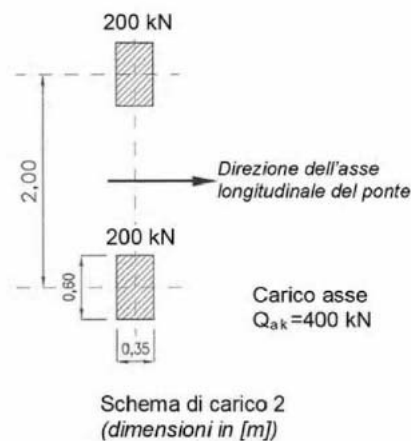




*Figura 12 – Applicazione del carico del vento*

### 7.1.7 Azioni sui guard-rail, urto di veicoli in svio

Ai sensi del DM 17/01/2018 è necessario considerare una condizione di carico eccezionale nella quale alla forza d'urto su sicurvias si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dal Secondo Schema di Carico, posizionato in adiacenza al sicurvias stesso e disposto nella posizione più gravosa.



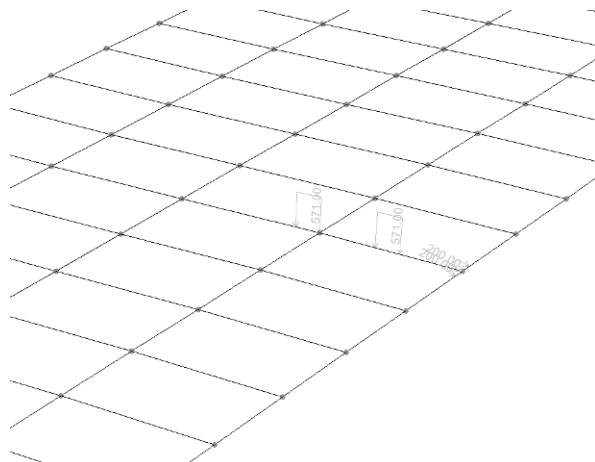
*Figura 13 - Schema di carico 2 ai sensi del DM 17/01/2018*

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	26 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Inoltre come riportato al § 3.6.3.3.2 “Traffico veicolare sopra i ponti”, in assenza di specifiche prescrizioni, si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN. Essa è stata considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 1,0 m sopra il livello del piano di marcia agente sulla trave longitudinale principale. Questa forza deve essere applicata su una linea lunga 0,5 m.



*Figura 14 – Carico q8 applicato al modello di calcolo*

### 7.1.8 Azione Sismica

Ai sensi del DM 17/01/2018 – Nuove norme tecniche per le costruzioni, la struttura in oggetto è verificata tramite modello elastico lineare tridimensionale ed analisi modale con spettro di risposta (o “analisi lineare dinamica”); le azioni sismiche in termini di accelerazioni spettrali sono valutate come riportato di seguito.

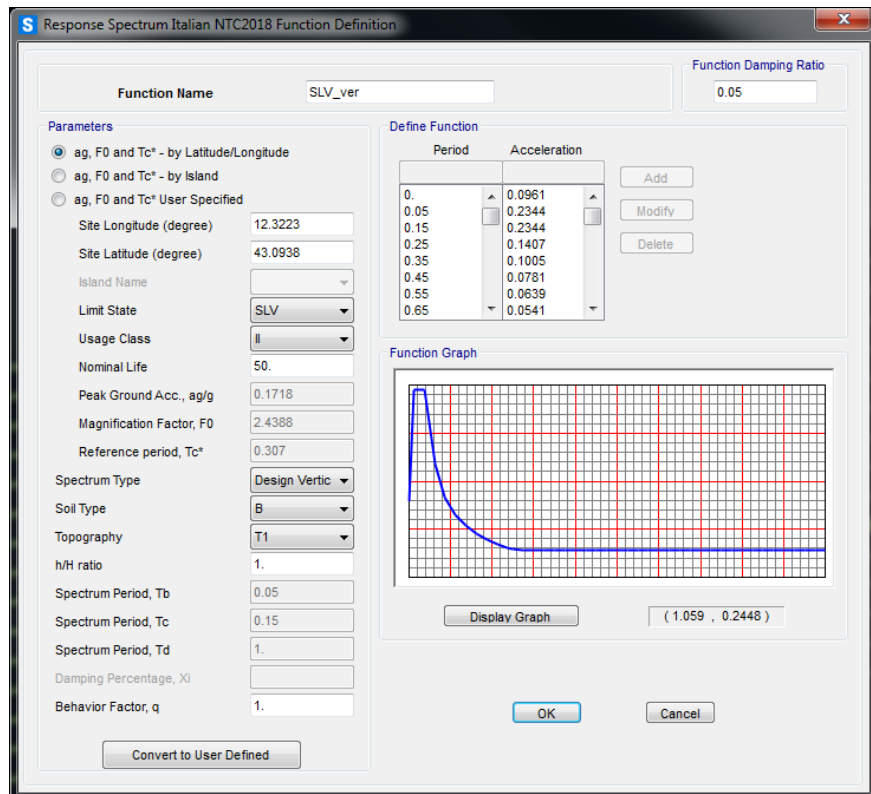
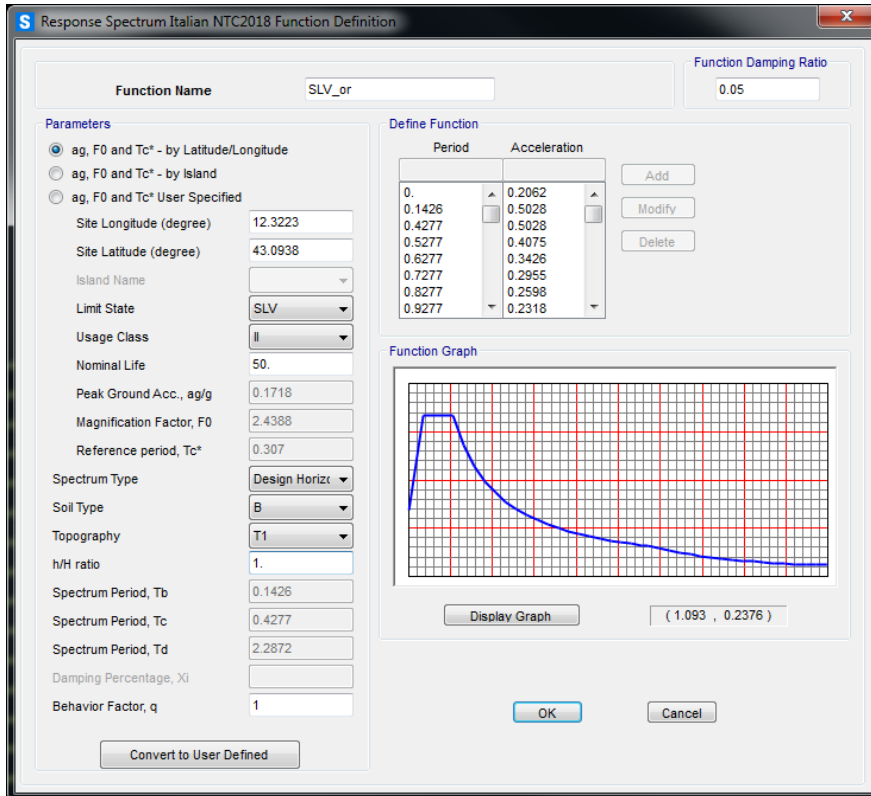
La località è individuata da **LON 12.3217°E; LAT 43.09286°N**. Periodo di riferimento  $V_R=1.0 \cdot 50=50$  anni (classe d’uso II). In base alla categorizzazione geotecnica allegata si individua per il sottosuolo la categoria B; il coefficiente di amplificazione topografica assunto pari T1.

Si riassumono di seguito i passaggi fondamentali per la determinazione dello spettro di progetto della componente verticale ed orizzontale per lo stato limite di salvaguardia della vita umana.

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	27 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**



Il fattore di struttura  $q$ , funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità, è stato assunto pari a 1.

L'analisi sismica della struttura è stata eseguita sulla base delle azioni dovute agli spettri di progetto definiti in precedenza. Lo spettro è stato applicato singolarmente lungo le due direzioni orizzontali sulla base dell'analisi modale eseguita tramite la tecnica Ritz Vector. In quest'ultima analisi come previsto al punto 3.2.4 del D.M. 14.01.2008 sono state prese in considerazione le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali moltiplicati per i rispettivi coefficienti:

- 1 \* DEAD
- 1 \* PERM

Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti ecc.) sono stati combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$1.0 \cdot E_x + 0.3 \cdot E_y + 0.3 \cdot E_z$$

Con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi.

## 7.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, sono stati considerati tre gruppi di carico secondo quanto riportato in Figura 15.

Carichi sulla carreggiata						Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
Gruppo di azioni	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura $q_3$	Forza centrifuga $q_4$	
1	Valore caratteristico					Carico uniformemente distribuito
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup>
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (**)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
4 (***)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
5 (****)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*\*) Ponti di 3<sup>a</sup> categoria  
 (\*\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
 (\*\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali


 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA</b> <b>INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL</b> <b>PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</b>					
	<b>CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE</b>  <b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA IR0B	LOTTO 02	CODIFICA D10	DOCUMENTO CL IV0109 001	REV. A

Figura 15 - Estratto Tabella 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico- punto 5.1.3.12 D.M. 17.01.2018.

Le combinazioni statiche allo stato limite ultimo seguono la legge di seguito riportata:

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

I coefficienti  $\gamma$  e  $\psi$  presi in considerazione per le combinazioni allo stato limite ultimo EQU, STR e GEO sono riportati di seguito:

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00
<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO. <sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti. <sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna <sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali					

Figura 16 - Estratto Tabella 5.1.V – Coefficiente parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU - punto 5.1.3.12 D.M. 14.01.2008

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	30 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Vento $q_s$	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve $q_s$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

Figura 17 - Estratto Tabella 5.1.VI – Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali – punto 5.1.3.12 D.M. 14.01.2008

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle combinazioni di carico definite, con i relativi coefficienti parziali e di combinazione. Ogni combinazione di carico è stata definita per ciascun gruppo di carico.

	A1_1	A1_2	A1_3	A1_4	A1_5	A1_6	A1_7	A1_8	A1_9	A1_10	A1_11	A1_12	A1_13	A1_14	A1_15
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g1	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
gr1-a	1.35					1.01					1.01				
gr1-b		1.35					1.01					1.01			
gr2-a			1.35					1.01					1.01		
gr2-b				1.35					1.01					1.01	
gr3					1.35					1.01					1.01
NEVE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VENTO	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
TEMP	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

	A1_16	A1_17	A1_18	A1_19	A1_20	A1_21	A1_22	A1_23	A1_24	A1_25	A1_26	A1_27	A1_28	A1_29	A1_30
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
g1	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
gr1-a	1.35					1.01					1.01				
gr1-b		1.35					1.01					1.01			
gr2-a			1.35					1.01					1.01		
gr2-b				1.35					1.01					1.01	
gr3					1.35					1.01					1.01
NEVE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VENTO	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
TEMP	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50	-1.50

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	31 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

	A1_ECC	SLV1	SLV2	SLV3	SLV4	SLV5	SLV6	SLV7	SLV8	SLV9	SLV10	SLV11	SLV12
DEAD	1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g1	1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
gr1-a		0.2				0.2				0.2			
gr1-b			0.2				0.2				0.2		
gr2-a				0.2				0.2				0.2	
gr2-b					0.2				0.2				0.2
gr3													
NEVE													
VENTO													
TEMP		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
URTO	1												
sisma_x		1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
sisma_y		0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
sisma_z		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	1	1

	SLV13	SLV14	SLV15	SLV16	SLV17	SLV18	SLV19	SLV20	SLV21	SLV22	SLV23	SLV24
DEAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
g1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
gr1-a	0.2				0.2				0.2			
gr1-b		0.2				0.2				0.2		
gr2-a			0.2				0.2				0.2	
gr2-b				0.2				0.2				0.2
gr3												
NEVE												
VENTO												
TEMP	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
URTO												
sisma_x	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
sisma_y	0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
sisma_z	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1	1	1	1

*Tabella 2 - Combinazioni di carico SLU definite*

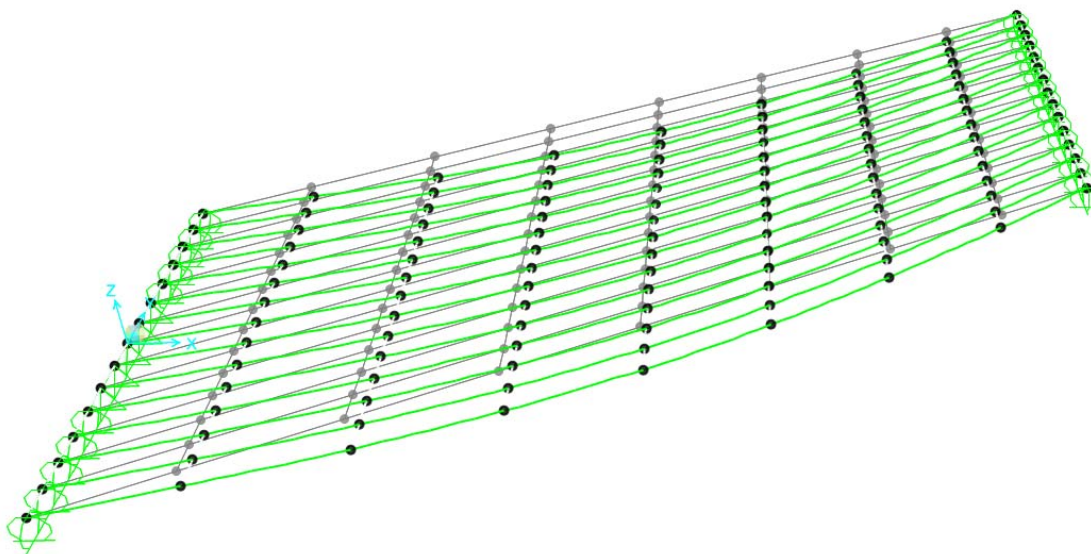
	SLE_1	SLE_2	SLE_3	SLE_4	SLE_5	SLE_6	SLE_7	SLE_8	SLE_9	SLE_10
DEAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
g1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
gr1-a	0.75					0.75				
gr1-b		0.75					0.75			
gr2-a			0.75					0.75		
gr2-b				0.75					0.75	
gr3					0.75					0.75
NEVE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VENTO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TEMP	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60

*Tabella 3 - Combinazioni di carico SLE definite*

### 7.3 ANALISI DEL MODELLO DI CALCOLO

Si assume che lo sforzo assiale di trazione sia positivo e la sollecitazione di momento flettente sia positiva quando genera tensioni di trazione all'intradosso delle travi.

Si riportano di seguito i diagrammi delle deformazioni e delle sollecitazioni ottenute per le diverse combinazioni di carico.



*Figura 18 - Deformata dovuta ai carichi accidentali applicati su tutte le lane*





Figura 19 - Diagramma del momento flettente  $M_{33}$  sulle travi principali (kNm) comb. A1\_2

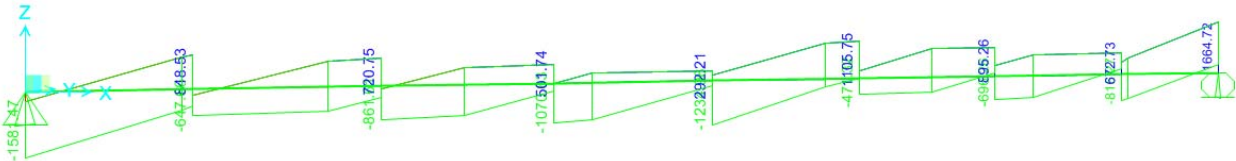


Figura 20 - Diagramma del taglio  $V_{22}$  (kN) sulle travi principali (kNm) comb. A1\_2

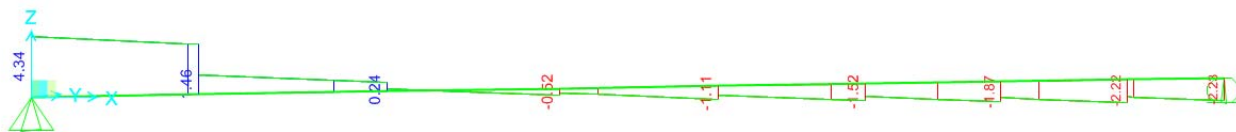


Figura 21 - Diagramma dello sforzo assiale  $N$  (kN) sulle travi principali (kNm) comb. A1\_2

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	34 di 66

Relazione di calcolo impalcato

## 7.4 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

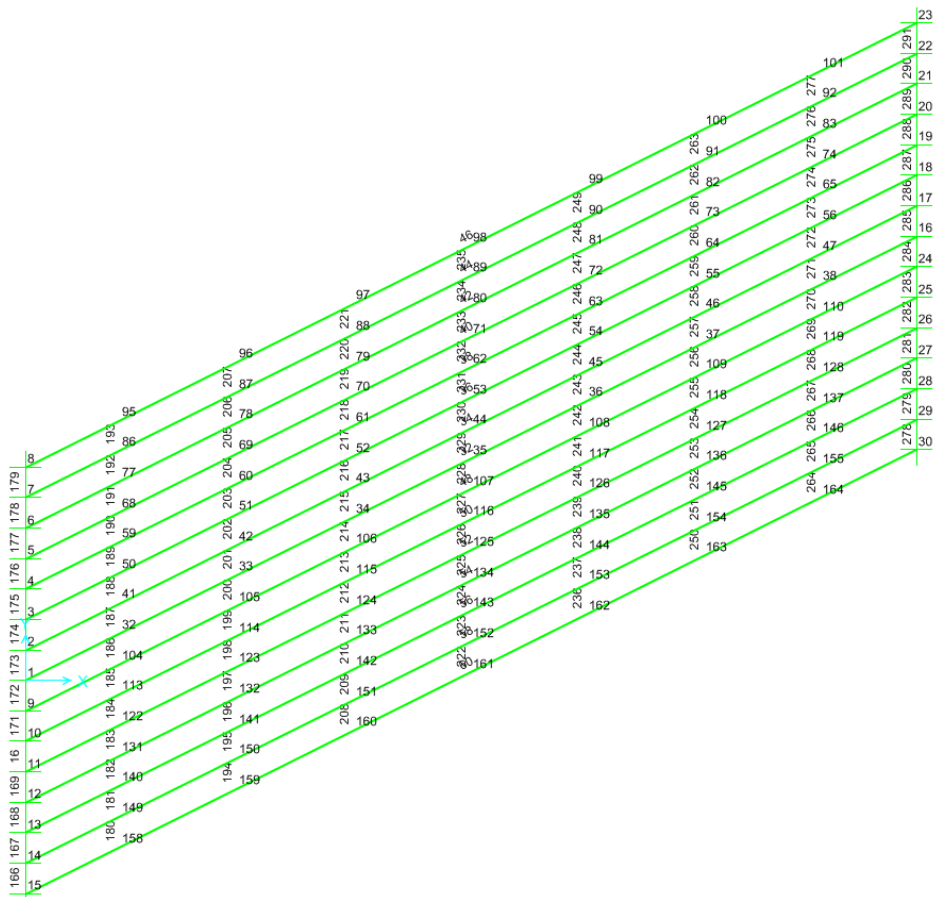


Figura 22 - Numerazione degli elementi frame e joint

### 7.4.1 Verifiche delle travi principali

La verifica di resistenza delle travi metalliche (HEB900) è condotta in campo elastico; si prescinde da eventuali fenomeni instabilità locali o globali, essendo le travi incorporate nel calcestruzzo.

Si riportano di seguito le tabelle con i valori delle sollecitazioni ottenute per le combinazioni di carico statiche e sismiche utilizzate nelle successive verifiche.

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	35 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

		P	V2	V3	T	M2	M3	Frame	Distance	OutputCase
		KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m	Text
<b>M3</b>	<b>max</b>	-1.4	268.0	2.9	1925.4	2.4	<b>2711.9</b>	32	8.4	A1_2
<b>M3</b>	<b>min</b>	-8.9	-408.0	1.1	-1.6	1.7	<b>-306.7</b>	48	0.0	A1_1
<b>M2</b>	<b>max</b>	114.0	-134.3	84.9	-0.3	<b>122.8</b>	959.5	48	5.0	SLV19
<b>M2</b>	<b>min</b>	-110.2	-158.7	-84.9	-0.4	<b>-122.8</b>	870.5	48	5.0	SLV5
<b>T</b>	<b>max</b>	-2.8	1015.4	5.9	<b>2874.0</b>	-6.2	266.0	32	21.1	A1_1
<b>T</b>	<b>min</b>	-1.5	-642.8	3.0	<b>-3109.2</b>	4.9	1676.7	32	10.5	A1_1
<b>V3</b>	<b>max</b>	89.0	-198.1	<b>99.1</b>	330.9	111.6	38.5	32	0.0	SLV5
<b>V3</b>	<b>min</b>	-81.5	-294.7	<b>-99.1</b>	-319.3	-111.6	-21.7	32	0.0	SLV19
<b>V2</b>	<b>max</b>	-2.8	<b>1664.7</b>	5.9	545.2	-6.2	72.8	32	21.1	A1_2
<b>V2</b>	<b>min</b>	-1.1	<b>-1581.5</b>	1.2	-545.5	1.8	-103.1	32	0.0	A1_2
<b>P</b>	<b>max</b>	<b>472.7</b>	-62.4	24.9	53.5	33.7	1217.6	60	7.8	SLV19
<b>P</b>	<b>min</b>	<b>-470.8</b>	-91.7	-24.9	54.4	-33.8	1097.3	60	7.8	SLV5

Si procede all'assegnazione della classe della sezione attraverso le tabelle 4.2.I e 4.2.II riportate nelle D.M. 17/01/2018

Altezza della sezione trasversale	h	900.00	[mm]
Larghezza della sezione trasversale	b	300.00	[mm]
Spessore dell'anima	t <sub>w</sub>	18.50	[mm]
Spessore delle ali	t <sub>f</sub>	35.00	[mm]
Raggio di raccordo	r	30.00	[mm]
Eventuale spessore della saldatura delle ali con l'anima	s	0.00	[mm]

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

Altezza tra le ali	h <sub>i</sub>	830.00	[mm]
Altezza della porzione saldabile	d	770.00	[mm]
Area della sezione trasversale	A	371.3	[cm <sup>2</sup> ]
Area della sezione resistente al taglio agente lungo z	A <sub>vz</sub>	188.75	[cm <sup>2</sup> ]
Area della sezione resistente al taglio agente lungo y	A <sub>vy</sub>	210.00	[cm <sup>2</sup> ]
Momento d'inerzia attorno all'asse forte	I <sub>yy</sub>	494065	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia attorno all'asse debole	I <sub>zz</sub>	15816	[cm <sup>4</sup> ]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	i <sub>yy</sub>	36.48	[cm]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	i <sub>zz</sub>	6.53	[cm]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	W <sub>el,yy</sub>	10979.2	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	W <sub>el,zz</sub>	1054.4	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W <sub>pl,yy</sub>	12584.1	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	W <sub>pl,zz</sub>	1658.3	[cm <sup>3</sup> ]
Momento d'inerzia torsionale	I <sub>t</sub>	1137.5	[cm <sup>4</sup> ]
Costante di warping	I <sub>w</sub>	29461359	[cm <sup>6</sup> ]

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

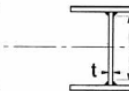
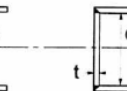
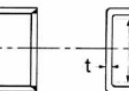
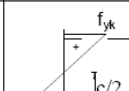
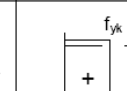

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IR0B 02 D10 CL IV0109 001 A 36 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

Valore di snervamento dell'acciaio	$f_y$	355 [MPa]
Coefficiente $\epsilon$	$\epsilon$	0.81 [-]
<u>Classificazione dell'anima</u>		
Altezza dell'anima depurata dei raccordi o delle saldature	$c$	770.00 [mm]
Spessore dell'anima	$t_w$	18.50 [mm]
Rapporto tra altezza e spessore	$c/t_w$	41.62 [-]
<i>Classificazione dell'anima per flessione</i>		<b>CLASSE 1</b>
<i>Classificazione dell'anima per compressione</i>		<b>CLASSE 4</b>
<u>Classificazione delle ali</u>		
Semi larghezza delle ali depurata dei raccordi o delle saldature	$c$	110.75 [mm]
Spessore delle ali	$t_f$	35.00 [mm]
Rapporto tra semi larghezza e spessore	$c/t_f$	3.16 [-]
<i>Classificazione delle ali per flessione</i>		<b>CLASSE 1</b>

Tabella 4.2.I - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

		Parti interne compresse				
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione			
						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha-1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha-1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
3						
	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67+0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$e$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

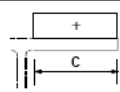
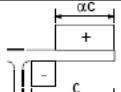
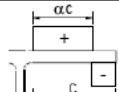
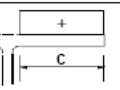
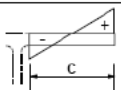
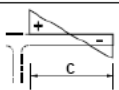
\*)  $\psi \leq -1$  si applica se la tensione di compressione  $\sigma \leq f_{yk}$  o la deformazione a trazione  $\epsilon_y > f_{yk}/E$

CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	37 di 66

Relazione di calcolo impalcato

Tabella 4.2.II- Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

		Piattabande esterne				
		Profilati laminati a caldo		Sezioni saldate		
Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione				
		Con estremità in compressione		Con estremità in trazione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9e$	$c/t \leq \frac{9e}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9e}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10e$	$c/t \leq \frac{10e}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9e}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione negativa)						
3	$c/t \leq 14e$	$c/t \leq 21e\sqrt{k_e}$ Per $k_e$ vedere EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

PRESSO-FLESSIONE RETTA

[4.2.4.1.2]

Modulo plastico	$W_{pl}$	12584100.53 mm <sup>3</sup>
	$M_{pl,y,Rd}$	4254.62 KNm
	$N_{pl,Rd}$	12552.65 KN
	$N_{Ed}$	0 KN
	n	0.000
	a	0.43 < 0.5
Larghezza ali	b	300 mm
Spessore delle ali	$t_f$	35 mm
	a	0.43 < 0.5
a deve essere $\leq 0.5$	a	0.43
	$M_{N,y,Rd}$	5435.08 KNm
$M_{N,y,Rd}$ deve essere $\leq M_{pl,y,Rd}$	$M_{N,y,Rd}$	4254.62 KNm
	$M_{Ed}$	2711.90 KNm
VERIFICA	$M_{Ed}/M_{pl,y,Rd} \leq 1$	0.6 VERIFICATA

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	38 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

TAGLIO

*Geometria della sezione*

Lunghezza asta	L	21000 mm
Larghezza ali	b	300 mm
Spessore ali	t <sub>f</sub>	35 mm
Spessore anima	t <sub>w</sub>	18.5 mm
Raggio di raccordo anima-ala	r	15 mm
Area della sezione	A	37127.57 mm <sup>2</sup>
Area resistente a taglio	A <sub>v</sub>	17825 mm <sup>2</sup>
	γ <sub>M0</sub>	1.05
Resistenza di calcolo a taglio	V <sub>c,Rd</sub>	3479442 N
Taglio di calcolo	V <sub>Ed</sub>	<b>1664700 N</b>

VERIFICA

0.48 **VERIFICATA**

FLESSIONE e TAGLIO

Taglio di calcolo	V <sub>Ed</sub>	1664700 N
Resistenza di calcolo a taglio	V <sub>c,Rd</sub>	3479442 N

Se  $V_{Ed} \leq 0,5 V_{c,Rd}$   
influenza del taglio sulla resistenza a flessione. **TRASCURABILE**

Altrimenti:

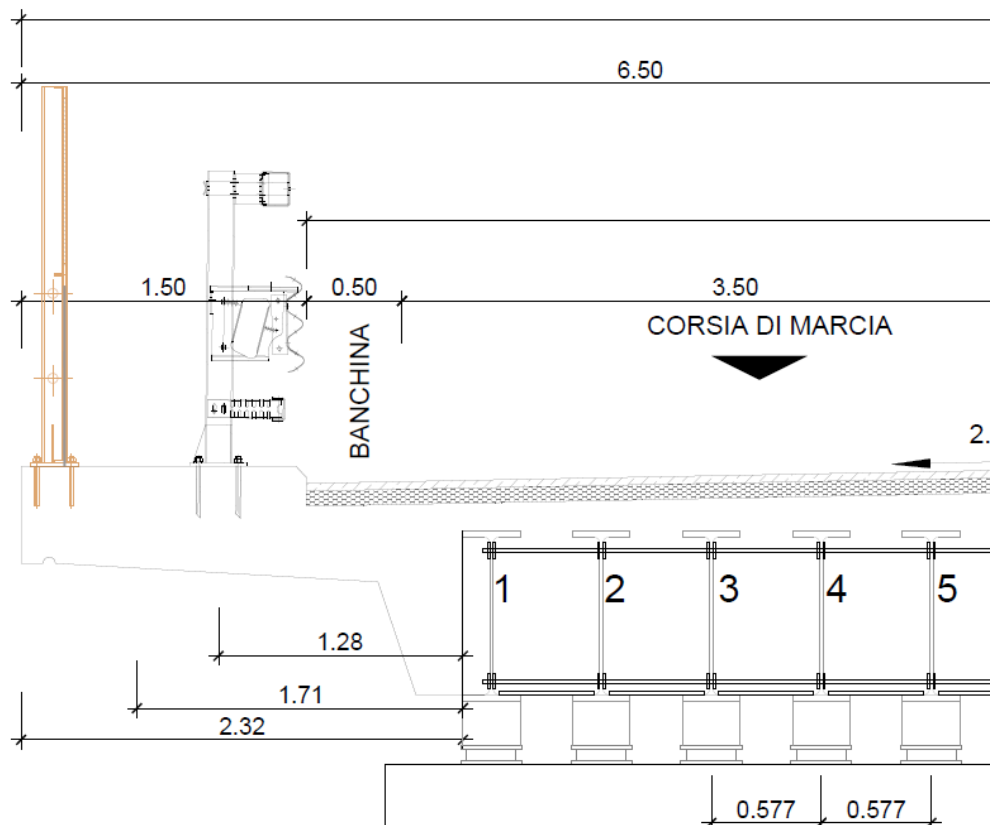
	ρ	0.00
Resistenza a flessione ridotta	(1-ρ)f <sub>yk</sub>	354.34 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza convenzionale di calcolo a flessione retta	M <sub>y,V,Rd</sub>	4251.93 KNm
	M <sub>y,C,Rd</sub>	4254.62 KNm

VERIFICA

$M_{y,V,Rd}/M_{pl,y,Rd} \leq 1$  **0.999 VERIFICATA**

### 7.4.2 VERIFICA DELLO SBALZO

Per la verifica della soletta a sbalzo è stato eseguito un calcolo semplificato a trave incastrata. La trave ha una sezione 1.00m x 0.55m, a favore di sicurezza si considera una luce di calcolo valutata pari allo sbalzo 2.32 m.



**Figura 23 - Sezioni trasversale (sbalzo)**

Il peso proprio è stato calcolato considerando un peso per unità di volume del cemento armato pari  $25 \text{ kN/m}^3$ . Per il carico da folla è stato considerato un carico uniformemente distribuito pari a  $5.0 \text{ kN/m}^2$ .

#### Caratteristiche materiali

Peso specifico = 25  $\text{kN/m}^3$

Modulo elastico = 33345800  $\text{kN/m}^2$

#### Geometria

Larghezza L = 2.32 m J = 0.01386  $\text{m}^4$

Spessore s = 0.55 m

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	40 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

**Carichi agenti**

Peso proprio	Pp=	<b>47.85</b> kN
Recinzione	Pr=	<b>1.00</b> kN
Guard-rail	Pg=	<b>1.00</b> kN
Accidentale	Folla=	<b>3.75</b> kN

**Sollecitazioni agenti**

Luce di calcolo Lc= **2.32** m

	braccio (m)	M (kNm)	T (kN)	f (mm)
Peso proprio	1.16	55.51	47.85	0.0625
Recinzione	2.32	2.32	1.00	0.0090
Guard-rail	1.42	1.42	1.00	0.0021
Accidentale	1.71	6.41	3.75	0.0231

Comb SLU 1,3Pp+1,5Folla+1,5Pv+1,5Ppar

Comb SLE Pp+Folla+Pv+Ppar

M<sub>SLU</sub> 87.39 kNm

M<sub>SLE</sub> 65.66 kNm

T<sub>SLU</sub> 70.83 kN

f<sub>SLE</sub> 0.0967 mm < 2\*L /250 18.56 verificato

f<sub>ACC</sub> 0.0231 mm < 2\*L /300 15.47 verificato

**Verifica a flessione**

**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: sbalzo**

**(Percorso File: \\oceano\C39\LAVORO\MODELLI DI CALCOLO\CAVALCAFERROVIA\sbalzo.sez)**



**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	41 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertzia  
 Riferimento alla sismicit : Zona non sismica  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

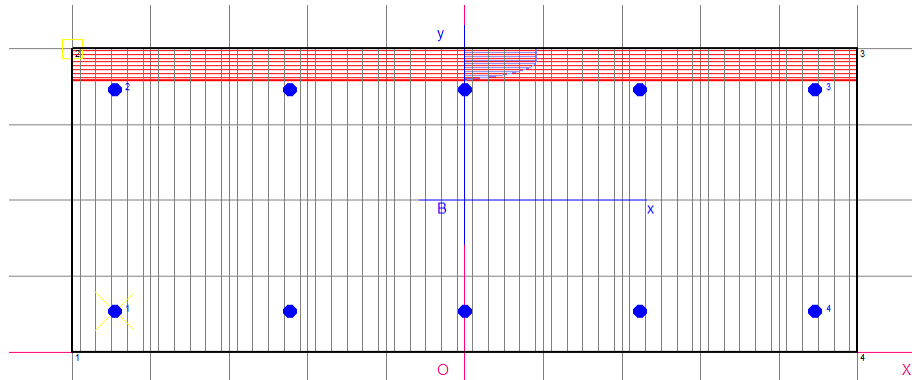
CONGLOMERATO - Classe: C32/40  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 181.33 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd' : 90.67 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 333458 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0.20  
 Resis. media a trazione fctm : 30.24 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0  
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 192.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk : 5400.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068  
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito  
 Coeff. Aderenza ist.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 1.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Aderenza diff.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO**

**DOMINIO N° 1**  
 Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C32/40

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-50.00	0.00
2	-50.00	40.00
3	50.00	40.00
4	50.00	0.00



**DATI BARE ISOLATE**

N.Barra Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini  
 Ascissa X Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O  
 Ordinata Y Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	42 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Diam. Diametro in mm della barra

N.Barra	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm	Diam.Ø,mm
1	-44.60	5.40	16
2	-44.60	34.60	16
3	44.60	34.60	16
4	44.60	5.40	16

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.  
 N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.  
 N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.  
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	N.Barra In.	N.Barra Fin.	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	1	4	3	16
2	2	3	3	16

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0	8739	0	10	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	0	6566	0

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.6 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.7 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 3.6 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	8739	0	0	14349	0	1.642

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	43 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.01078	-50.0	40.0	-0.00100	44.6	34.6	-0.02532	-44.6	5.4

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000833069	-0.029822766	0.121	0.700

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
S	22.0	-50.0	40.0	-241	-44.6	5.4	1411	0	0.129	0.000	

Verifica a taglio

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	44 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

**Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

**[4.1.2.1.3.1]**

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del cls.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Sollecitazioni Agenti:

$V_{Ed}$	<b>70.8 kN</b>
$N_{Ed}$	<b>0.0 kN</b>

Calcestruzzo

**C28/35**

$R_{ck}$	<b>35 N/mm<sup>2</sup></b>
$f_{ck}$	29.05 N/mm <sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$f_{cd}$	16.46 N/mm <sup>2</sup>
----------	-------------------------

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo

$\gamma_c$	1.5
------------	-----

Altezza sezione

$h$	<b>400 mm</b>
-----	---------------

Copriferro

$c$	<b>64 mm</b>
-----	--------------

Larghezza minima della sezione (in mm)

$b_w$	<b>1000 mm</b>
-------	----------------

Altezza utile della sezione (in mm)

$d$	336 mm
-----	--------

Area Calcestruzzo

$A_c$	400000 mm <sup>2</sup>
-------	------------------------

Armatura longitudinale

$A_{sl}$	<b>1004.8 mm<sup>2</sup></b>
----------	------------------------------

Rapporto geometrico di armatura longitudinale

$\rho_1$	0.0030 ≤ 0.02	<b>ok</b>
----------	---------------	-----------

Tensione media di compressione nella sezione

$\sigma_{cp}$	0.0000 ≤ 0.2 $f_{cd}$	<b>ok</b>
---------------	-----------------------	-----------

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$k$	1.77 ≤ 2	<b>ok</b>
-----	----------	-----------

$$v_{\min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$v_{\min}$	0.28
------------	------

$V_{Rd}$	146.83 kN
----------	-----------

**Verifica:**

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

**VERIFICATA**

## 7.5 VERIFICA DELL'INFLESSIONE DELL'IMPALCATO NEL PIANO VERTICALE

Le deformazioni massime del cavalcavia devono risultare compatibili con la geometria della struttura in relazione alle esigenze del traffico, nonché ai vincoli ed ai dispositivi di giunto previsti in progetto.

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	45 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

In tutte le strutture, limitatamente agli elementi principali, si dovrà rispettare il seguente limite di deformazione sotto l'azione dei carichi accidentali di progetto incrementati dinamicamente nella combinazione caratteristica (rara) agli S.L.E.:

$$f \leq L/700$$

Dove:

L = luce di calcolo;

f = massima freccia verticale.

**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
35	SLE1	Combination	Max	-20.81
35	SLE1	Combination	Min	-25.23
35	SLE2	Combination	Max	-20.88
35	SLE2	Combination	Min	-28.46
35	SLE3	Combination	Max	-20.86
35	SLE3	Combination	Min	-24.18
35	SLE4	Combination	Max	-16.08
35	SLE4	Combination	Min	-21.76
35	SLE5	Combination	Max	-21.45
35	SLE5	Combination	Min	-21.45
35	SLE6	Combination	Max	-20.81
35	SLE6	Combination	Min	-25.23
35	SLE7	Combination	Max	-20.88
35	SLE7	Combination	Min	-28.46
35	SLE8	Combination	Max	-20.86
35	SLE8	Combination	Min	-24.18
35	SLE9	Combination	Max	-20.91
35	SLE9	Combination	Min	-26.60
35	SLE10	Combination	Max	-21.45
35	SLE10	Combination	Min	-21.45
44	SLE1	Combination	Max	-20.83
44	SLE1	Combination	Min	-25.49
44	SLE2	Combination	Max	-20.86
44	SLE2	Combination	Min	-28.27
44	SLE3	Combination	Max	-20.89
44	SLE3	Combination	Min	-24.38
44	SLE4	Combination	Max	-16.06

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	46 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
44	SLE4	Combination	Min	-21.62
44	SLE5	Combination	Max	-21.44
44	SLE5	Combination	Min	-21.44
44	SLE6	Combination	Max	-20.83
44	SLE6	Combination	Min	-25.49
44	SLE7	Combination	Max	-20.86
44	SLE7	Combination	Min	-28.27
44	SLE8	Combination	Max	-20.89
44	SLE8	Combination	Min	-24.38
44	SLE9	Combination	Max	-20.90
44	SLE9	Combination	Min	-26.46
44	SLE10	Combination	Max	-21.44
44	SLE10	Combination	Min	-21.44
53	SLE1	Combination	Max	-20.87
53	SLE1	Combination	Min	-25.74
53	SLE2	Combination	Max	-20.85
53	SLE2	Combination	Min	-28.09
53	SLE3	Combination	Max	-20.92
53	SLE3	Combination	Min	-24.57
53	SLE4	Combination	Max	-16.04
53	SLE4	Combination	Min	-21.47
53	SLE5	Combination	Max	-21.44
53	SLE5	Combination	Min	-21.44
53	SLE6	Combination	Max	-20.87
53	SLE6	Combination	Min	-25.74
53	SLE7	Combination	Max	-20.85
53	SLE7	Combination	Min	-28.09
53	SLE8	Combination	Max	-20.92
53	SLE8	Combination	Min	-24.57
53	SLE9	Combination	Max	-20.90
53	SLE9	Combination	Min	-26.33
53	SLE10	Combination	Max	-21.44
53	SLE10	Combination	Min	-21.44
62	SLE1	Combination	Max	-20.91
62	SLE1	Combination	Min	-25.97
62	SLE2	Combination	Max	-20.84
62	SLE2	Combination	Min	-27.91

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	47 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
62	SLE3	Combination	Max	-20.96
62	SLE3	Combination	Min	-24.76
62	SLE4	Combination	Max	-16.03
62	SLE4	Combination	Min	-21.33
62	SLE5	Combination	Max	-21.45
62	SLE5	Combination	Min	-21.45
62	SLE6	Combination	Max	-20.91
62	SLE6	Combination	Min	-25.97
62	SLE7	Combination	Max	-20.84
62	SLE7	Combination	Min	-27.91
62	SLE8	Combination	Max	-20.96
62	SLE8	Combination	Min	-24.76
62	SLE9	Combination	Max	-20.91
62	SLE9	Combination	Min	-26.22
62	SLE10	Combination	Max	-21.45
62	SLE10	Combination	Min	-21.45
71	SLE1	Combination	Max	-20.94
71	SLE1	Combination	Min	-26.20
71	SLE2	Combination	Max	-20.84
71	SLE2	Combination	Min	-27.76
71	SLE3	Combination	Max	-21.00
71	SLE3	Combination	Min	-24.94
71	SLE4	Combination	Max	-16.01
71	SLE4	Combination	Min	-21.19
71	SLE5	Combination	Max	-21.46
71	SLE5	Combination	Min	-21.46
71	SLE6	Combination	Max	-20.94
71	SLE6	Combination	Min	-26.20
71	SLE7	Combination	Max	-20.84
71	SLE7	Combination	Min	-27.76
71	SLE8	Combination	Max	-21.00
71	SLE8	Combination	Min	-24.94
71	SLE9	Combination	Max	-20.93
71	SLE9	Combination	Min	-26.11
71	SLE10	Combination	Max	-21.46
71	SLE10	Combination	Min	-21.46
80	SLE1	Combination	Max	-20.95

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	48 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
80	SLE1	Combination	Min	-26.43
80	SLE2	Combination	Max	-20.85
80	SLE2	Combination	Min	-27.61
80	SLE3	Combination	Max	-21.02
80	SLE3	Combination	Min	-25.13
80	SLE4	Combination	Max	-15.98
80	SLE4	Combination	Min	-21.05
80	SLE5	Combination	Max	-21.49
80	SLE5	Combination	Min	-21.49
80	SLE6	Combination	Max	-20.95
80	SLE6	Combination	Min	-26.43
80	SLE7	Combination	Max	-20.85
80	SLE7	Combination	Min	-27.61
80	SLE8	Combination	Max	-21.02
80	SLE8	Combination	Min	-25.13
80	SLE9	Combination	Max	-20.95
80	SLE9	Combination	Min	-26.01
80	SLE10	Combination	Max	-21.49
80	SLE10	Combination	Min	-21.49
89	SLE1	Combination	Max	-20.96
89	SLE1	Combination	Min	-26.65
89	SLE2	Combination	Max	-20.87
89	SLE2	Combination	Min	-27.47
89	SLE3	Combination	Max	-21.04
89	SLE3	Combination	Min	-25.31
89	SLE4	Combination	Max	-15.96
89	SLE4	Combination	Min	-20.91
89	SLE5	Combination	Max	-21.52
89	SLE5	Combination	Min	-21.52
89	SLE6	Combination	Max	-20.96
89	SLE6	Combination	Min	-26.65
89	SLE7	Combination	Max	-20.87
89	SLE7	Combination	Min	-27.47
89	SLE8	Combination	Max	-21.04
89	SLE8	Combination	Min	-25.31
89	SLE9	Combination	Max	-20.97
89	SLE9	Combination	Min	-25.93



**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	49 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
89	SLE10	Combination	Max	-21.52
89	SLE10	Combination	Min	-21.52
98	SLE1	Combination	Max	-20.98
98	SLE1	Combination	Min	-26.88
98	SLE2	Combination	Max	-20.89
98	SLE2	Combination	Min	-27.35
98	SLE3	Combination	Max	-21.07
98	SLE3	Combination	Min	-25.50
98	SLE4	Combination	Max	-15.94
98	SLE4	Combination	Min	-20.78
98	SLE5	Combination	Max	-21.55
98	SLE5	Combination	Min	-21.55
98	SLE6	Combination	Max	-20.98
98	SLE6	Combination	Min	-26.88
98	SLE7	Combination	Max	-20.89
98	SLE7	Combination	Min	-27.35
98	SLE8	Combination	Max	-21.07
98	SLE8	Combination	Min	-25.50
98	SLE9	Combination	Max	-21.00
98	SLE9	Combination	Min	-25.85
98	SLE10	Combination	Max	-21.55
98	SLE10	Combination	Min	-21.55
107	SLE1	Combination	Max	-20.79
107	SLE1	Combination	Min	-25.40
107	SLE2	Combination	Max	-20.91
107	SLE2	Combination	Min	-28.63
107	SLE3	Combination	Max	-20.84
107	SLE3	Combination	Min	-24.30
107	SLE4	Combination	Max	-16.09
107	SLE4	Combination	Min	-21.88
107	SLE5	Combination	Max	-21.47
107	SLE5	Combination	Min	-21.47
107	SLE6	Combination	Max	-20.79
107	SLE6	Combination	Min	-25.40
107	SLE7	Combination	Max	-20.91
107	SLE7	Combination	Min	-28.63
107	SLE8	Combination	Max	-20.84

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	50 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
107	SLE8	Combination	Min	-24.30
107	SLE9	Combination	Max	-20.93
107	SLE9	Combination	Min	-26.72
107	SLE10	Combination	Max	-21.47
107	SLE10	Combination	Min	-21.47
116	SLE1	Combination	Max	-20.79
116	SLE1	Combination	Min	-25.61
116	SLE2	Combination	Max	-20.95
116	SLE2	Combination	Min	-28.78
116	SLE3	Combination	Max	-20.84
116	SLE3	Combination	Min	-24.45
116	SLE4	Combination	Max	-16.10
116	SLE4	Combination	Min	-21.97
116	SLE5	Combination	Max	-21.50
116	SLE5	Combination	Min	-21.50
116	SLE6	Combination	Max	-20.79
116	SLE6	Combination	Min	-25.61
116	SLE7	Combination	Max	-20.95
116	SLE7	Combination	Min	-28.78
116	SLE8	Combination	Max	-20.84
116	SLE8	Combination	Min	-24.45
116	SLE9	Combination	Max	-20.96
116	SLE9	Combination	Min	-26.83
116	SLE10	Combination	Max	-21.50
116	SLE10	Combination	Min	-21.50
125	SLE1	Combination	Max	-20.79
125	SLE1	Combination	Min	-25.80
125	SLE2	Combination	Max	-20.99
125	SLE2	Combination	Min	-28.92
125	SLE3	Combination	Max	-20.84
125	SLE3	Combination	Min	-24.60
125	SLE4	Combination	Max	-16.11
125	SLE4	Combination	Min	-22.05
125	SLE5	Combination	Max	-21.54
125	SLE5	Combination	Min	-21.54
125	SLE6	Combination	Max	-20.79
125	SLE6	Combination	Min	-25.80

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	51 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
125	SLE7	Combination	Max	-20.99
125	SLE7	Combination	Min	-28.92
125	SLE8	Combination	Max	-20.84
125	SLE8	Combination	Min	-24.60
125	SLE9	Combination	Max	-20.99
125	SLE9	Combination	Min	-26.94
125	SLE10	Combination	Max	-21.54
125	SLE10	Combination	Min	-21.54
134	SLE1	Combination	Max	-20.80
134	SLE1	Combination	Min	-26.00
134	SLE2	Combination	Max	-21.05
134	SLE2	Combination	Min	-29.06
134	SLE3	Combination	Max	-20.84
134	SLE3	Combination	Min	-24.75
134	SLE4	Combination	Max	-16.11
134	SLE4	Combination	Min	-22.13
134	SLE5	Combination	Max	-21.58
134	SLE5	Combination	Min	-21.58
134	SLE6	Combination	Max	-20.80
134	SLE6	Combination	Min	-26.00
134	SLE7	Combination	Max	-21.05
134	SLE7	Combination	Min	-29.06
134	SLE8	Combination	Max	-20.84
134	SLE8	Combination	Min	-24.75
134	SLE9	Combination	Max	-21.03
134	SLE9	Combination	Min	-27.05
134	SLE10	Combination	Max	-21.58
134	SLE10	Combination	Min	-21.58
143	SLE1	Combination	Max	-20.81
143	SLE1	Combination	Min	-26.19
143	SLE2	Combination	Max	-21.10
143	SLE2	Combination	Min	-29.20
143	SLE3	Combination	Max	-20.86
143	SLE3	Combination	Min	-24.89
143	SLE4	Combination	Max	-16.12
143	SLE4	Combination	Min	-22.19
143	SLE5	Combination	Max	-21.64

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	52 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**TABLE: Joint Displacements**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
143	SLE5	Combination	Min	-21.64
143	SLE6	Combination	Max	-20.81
143	SLE6	Combination	Min	-26.19
143	SLE7	Combination	Max	-21.10
143	SLE7	Combination	Min	-29.20
143	SLE8	Combination	Max	-20.86
143	SLE8	Combination	Min	-24.89
143	SLE9	Combination	Max	-21.08
143	SLE9	Combination	Min	-27.15
143	SLE10	Combination	Max	-21.64
143	SLE10	Combination	Min	-21.64
152	SLE1	Combination	Max	-20.83
152	SLE1	Combination	Min	-26.39
152	SLE2	Combination	Max	-21.17
152	SLE2	Combination	Min	-29.35
152	SLE3	Combination	Max	-20.88
152	SLE3	Combination	Min	-25.04
152	SLE4	Combination	Max	-16.12
152	SLE4	Combination	Min	-22.25
152	SLE5	Combination	Max	-21.70
152	SLE5	Combination	Min	-21.70
152	SLE6	Combination	Max	-20.83
152	SLE6	Combination	Min	-26.39
152	SLE7	Combination	Max	-21.17
152	SLE7	Combination	Min	-29.35
152	SLE8	Combination	Max	-20.88
152	SLE8	Combination	Min	-25.04
152	SLE9	Combination	Max	-21.13
152	SLE9	Combination	Min	-27.26
152	SLE10	Combination	Max	-21.70
152	SLE10	Combination	Min	-21.70
161	SLE1	Combination	Max	-20.86
161	SLE1	Combination	Min	-26.59
161	SLE2	Combination	Max	-21.24
161	SLE2	Combination	Min	-29.49
161	SLE3	Combination	Max	-20.90
161	SLE3	Combination	Min	-25.20

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	53 di 66

Relazione di calcolo impalcato

TABLE: Joint Displacements				
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	mm
161	SLE4	Combination	Max	-16.12
161	SLE4	Combination	Min	-22.31
161	SLE5	Combination	Max	-21.77
161	SLE5	Combination	Min	-21.77
161	SLE6	Combination	Max	-20.86
161	SLE6	Combination	Min	-26.59
161	SLE7	Combination	Max	-21.24
161	SLE7	Combination	Min	-29.49
161	SLE8	Combination	Max	-20.90
161	SLE8	Combination	Min	-25.20
161	SLE9	Combination	Max	-21.19
161	SLE9	Combination	Min	-27.38
161	SLE10	Combination	Max	-21.77
161	SLE10	Combination	Min	-21.77

U3 min            29.5 mm

L                    21 m

f<sub>lim</sub>                30 mm

verificato

## 8 DIMENSIONAMENTO GIUNTI E APPARECCHI DI APPOGGIO

Gli appoggi da installare sulle spalle sono dimensionati in base ai risultati in output dalla modellazione illustrata al capitolo precedente.

I risultati riepilogativi delle azioni massime e minime dovute ai carichi permanenti, in condizioni di esercizio ed in condizioni sismiche, delle rotazioni massime e dei massimi scorrimenti per il dimensionamento dei giunti sono riepilogati di seguito.

### 8.1 ESCURSIONE LONGITUDINALE GIUNTI E VARCHI

Gli spostamenti elementari degli appoggi dovuti alle varie condizioni di carico in direzione longitudinale sono di seguito valutati:

TABLE: Joint Displacements				
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U1
Text	Text	Text	m	mm
16	FREN	LinStatic	0.000047	0.047
17	FREN	LinStatic	0.000049	0.049
18	FREN	LinStatic	0.000051	0.051
19	FREN	LinStatic	0.000052	0.052
20	FREN	LinStatic	0.000052	0.052
21	FREN	LinStatic	0.000052	0.052
22	FREN	LinStatic	0.000053	0.053
23	FREN	LinStatic	0.000053	0.053
24	FREN	LinStatic	0.000044	0.044
25	FREN	LinStatic	0.000041	0.041
26	FREN	LinStatic	0.000038	0.038
27	FREN	LinStatic	0.000035	0.035
28	FREN	LinStatic	0.000031	0.031

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	55 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

29	FREN	LinStatic	0.000028	0.028	
30	FREN	LinStatic	0.000025	0.025	0.053
16	TEMP	LinStatic	0.004125	4.125	
17	TEMP	LinStatic	0.004137	4.137	
18	TEMP	LinStatic	0.004149	4.149	
19	TEMP	LinStatic	0.004162	4.162	
20	TEMP	LinStatic	0.004173	4.173	
21	TEMP	LinStatic	0.004186	4.186	
22	TEMP	LinStatic	0.004199	4.199	
23	TEMP	LinStatic	0.004213	4.213	
24	TEMP	LinStatic	0.004113	4.113	
25	TEMP	LinStatic	0.004101	4.101	
26	TEMP	LinStatic	0.004088	4.088	
27	TEMP	LinStatic	0.004076	4.076	
28	TEMP	LinStatic	0.004063	4.063	
29	TEMP	LinStatic	0.004051	4.051	
30	TEMP	LinStatic	0.004037	4.037	4.213

Le escursioni longitudinali che i vincoli mobili devono consentire, sono state determinate in accordo con quanto indicato nel §2.1.5 del Manuale di Progettazione RFI 2020 per i ponti.

L'entità dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi d'appoggio viene valutato mediante la seguente relazione:

$$EL = k_1 * (E_1 + E_2 + E_3) = k_1 * (2 * Dt + 4 * dEd * k_2 + 2 * deg)$$

dove:

E1 = spostamento dovuto alla variazione termica uniforme;

E2 = spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica;

E3 = spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate;

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	56 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

$k_1 = 0,45$  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;

$dEd$  = è lo spostamento relativo totale tra le parti, pari allo spostamento  $dE$  prodotto dall'azione sismica di progetto, calcolato come indicato nel §7.3.3.3 delle NTC2018;

$deg$  = è lo spostamento relativo tra le parti dovuto agli spostamenti relativi del terreno, da valutare secondo il §3.2.3.3 delle NTC201 In ogni caso, dovrà risultare:

$$EL \geq E_0 \text{ e } EL \geq E_i \text{ con } i = 1, 2, 3$$

dove:

$E_0$  = 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

$$EL = \max(E_0; E_i);$$

Per garantire un valore minimo di escursione, in funzione della sismicità del sito, il valore  $EL$  dovrà

essere assunto non minore di:

$$E_L = 2.3 \cdot \frac{L}{1000} + 0.073 = 0.1213 \text{ m}$$

dove:

$L$  = la lunghezza del ponte (m).

a) La corsa degli apparecchi d'appoggio mobili deve essere non inferiore a  $EC_{min} = \pm(EL/2 + EL/8)$  con un minimo di  $\pm(EL/2 + 15 \text{ mm})$ .

b) Il giunto fra le testate di due travi adiacenti dovrà consentire una escursione totale pari a:

$$EG_{min} = \pm(EL/2 + 10 \text{ mm})$$

c) Il varco da prevedere fra le testate degli impalcati adiacenti, a temperatura media ambiente, dovrà essere non inferiore a:

$$EV_{min} = EL/2 + 20 \text{ mm}$$

d) Il ritegno sismico dovrà essere disposto ad una distanza, dal bordo della trave supportata dal vincolo mobile, pari a:

$$ER_{min} = V - 10 \text{ mm}$$



**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	57 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**
**8.1.1 Lato spalla MOBILE**

Di seguito vengono valutati preliminarmente i diversi contributi relativi alle diverse azioni (termica, sismica e moto delle fondazioni) e successivamente vengono riportati i calcoli delle diverse grandezze.

$a_g$		<b>0.1718</b> g
$F_0$		<b>2.4388</b>
$S_s$		<b>1.5</b>
$S_T$		<b>1</b>
$T_c$		<b>0.4277</b> s
$T_D$		<b>2.2872</b> s
acc. massima al suolo	$S \cdot a_{gmax}$	0.258 g
acc. massima spettro	$F_0 \cdot S \cdot a_{gmax}$	0.62847876 g
Inerzia Spalla asse y	$J_{yy}$	216.00 m <sup>4</sup>
Altezza spalla	$h_1$	<b>7.7</b> m
Altezza baricentro impalcato	$h_2$	<b>0.55</b> m
Altezza totale	$h=h_1+h_2$	8.25 m
Rigidezza spalla asse y	$K$	<b>4</b> N/m
Forza agente in fase sismica in dir .x	$F$	<b>1410.7</b> kN
Fattore di struttura	$q$	<b>1</b>
Spostamento testa spalla	$d_E = F/K$	0.000036 m
$\mu_d$		<b>1</b>
Spostamento testa spalla	$d_E = d_{Ed} \cdot \mu_d$	0.000036 m
$k_1$		0.45
$k_2$		0.55
$d_g$ (par.3.2.3.3 NTC)	$d_g$	0.0063 m
Lunghezza impalcato	$L$	<b>21.0</b> m
Dilatazione termica impalcato	$D_t$	0.00756 m
E1	$2 \cdot D_t$	0.015 m
E2	$4 \cdot d_E \cdot k_2$	0.00008 m
E3	$2 \cdot d_g$	0.013 m
EL	$k_1 \cdot (E_1 + E_2 + E_3)$	0.013 m
EL min1		0.1213 m
EL min2		0.015 m
EL min	$\max(EL_{min1}; EL_{min2})$	0.1213 m

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	58 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Elprog	max(EL;Elmin)	0.121 m
Corsa apparecchi di appoggio mobili	par. 2.5.2.1.5.2	0.076 m
Escursione dei giunti	par. 2.5.2.1.5.3	0.071 m
Ampiezza dei varchi "V"	par. 2.5.2.1.5.4	0.08065 m
Ritegni sismici	par. 2.5.2.1.5.5	0.07065 m

Si assume che il varco sia pari a 10.0 cm

La superficie di potenziale contatto fra trave e ritegno sismico sarà rivestita con un cuscinetto di neoprene armato e di spessore 5 cm; la distanza fra il cuscinetto di neoprene e la superficie della trave è:

- per i ritegni trasversali e quelli longitudinali lato appoggio fisso  $dr = 5 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
- per i ritegni longitudinali  $dr = E_L/2 + 10 \text{ mm} = 121 \text{ mm}$  con tolleranza  $\pm 2 \text{ mm}$ .

Considerando il cuscinetto di spessore 50 mm la distanza tra il bordo del ritegno e la superficie della trave è:

- per i ritegni trasversali e quelli longitudinali lato appoggio fisso  $dr = 55 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
- per i ritegni longitudinali  $dr = E_L/2 + 10 \text{ mm} = 171 \text{ mm}$  con tolleranza  $\pm 2 \text{ mm}$ .

### 8.1.2 Lato spalla FISSA

$a_g$		0.1718 g
$F_0$		2.4388
$S_S$		1.5
$S_T$		1
$T_C$		0.4277 s
$T_D$		2.2872 s
acc. massima al suolo	$S^*a_{gmax}$	0.258 g
acc. massima spettro	$F_0*S^*a_{gmax}$	0.62847876 g
Inerzia Spalla asse y	$J_{yy}$	216.00 m <sup>4</sup>
Altezza spalla	$h_1$	7.7 m
Altezza baricentro impalcato	$h_2$	0.55 m
Altezza totale	$h=h_1+h_2$	8.25 m
		3882442530
Rigidezza spalla asse y	K	4 N/m
Forza agente in fase sismica in dir .x	F	1410.7 kN
Fattore di struttura	q	1

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	59 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Spostamento testa spalla	$d_E = F/K$	0.000036 m
$\mu_d$		<b>1</b>
Spostamento testa spalla	$d_E = d_{Ed} * \mu_d$	0.000036 m
k1		0.45
k2		0.55
$d_g$ (par.3.2.3.3 NTC)	$d_g$	0.0063 m
Lunghezza impalcato	L	<b>21.0</b> m
Dilatazione termica impalcato	$D_t$	0.00756 m
E1	$2 * D_t$	0.015 m
E2	$4 * d_E * k2$	0.00008 m
E3	$2 * d_g$	0.013 m
EL	$k1 * (E1 + E2 + E3)$	0.013 m
EL min1		0.1213 m
EL min2		0.015 m
EL min	$\max(EL_{min1}; EL_{min2})$	0.1213 m
Elprog	$\max(EL; EL_{min})$	0.121 m
Corsa apparecchi di appoggio mobili	par. 2.5.2.1.5.2	0.076 m
Escursione dei giunti	par. 2.5.2.1.5.3	0.071 m
Ampiezza dei varchi "V"	par. 2.5.2.1.5.4	0.08065 m
Ritegni sismici	par. 2.5.2.1.5.5	0.07065 m

Si assume che il varco sia pari a 10.0 cm

## 8.2 APPARECCHI DI APPOGGIO

Con riferimento allo schema di vincolo si riportano di seguito anche i carichi ottenuti definendo le combinazioni agli SL per la verifica degli appoggi secondo le istruzioni della marcatura CE.

### Appoggi fissi

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	60 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Azioni (valori caratteristici) (kN)			maxN	minN	maxTl	minTl	maxTt	minTt
1.1	permanenti	peso proprio	183.8	182.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2		permanententi	40.8	36.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2.1	variabili	carico stradale	1404.9	-770.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2.2		frenatura	0.0	-3.1	-35.1	-176.0	-3.5	-134.2
2.3		vento	0.1	-1.6	7.4	-5.8	-6.2	-8.3
2.4		temperatura	0.0	0.0	331.5	-292.8	136.3	-195.4
2.5		neve	5.4	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0
3.1	sismiche	prevenzione del collasso	16.4	0.0	552.2	0.0	337.8	0.0
4.1	eccezionali	urto	29.4	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0

**Appoggi multidirezionali**

Azioni (valori caratteristici) (kN)			maxN	minN	maxTl	minTl	maxTt	minTt
1.1	permanenti	peso proprio	183.6	168.8				
1.2		permanententi	145.7	19.1				
2.1	variabili	carico stradale	369.0	-306.0				
2.2		frenatura	3.1	-2.6				
2.3		vento	6.6	-6.2				
2.4		temperatura	0.0	0.0				
2.5		neve	5.4	5.4				
3.1	sismiche	prevenzione del collasso	17.1	0.0				
4.1	accidentali	urto	114.8	-10.2				

**Appoggi unidirezionali Long**

Azioni (valori caratteristici) (kN)			maxN	minN	maxTl	minTl	maxTt	minTt
1.1	permanenti	peso proprio	183.6	182.6			0.0	0.0
1.2		permanententi	40.8	36.2			0.0	0.0
2.1	variabili	carico stradale	1597.9	-641.0			0.0	0.0
2.2		frenatura	2.6	-0.4			8.8	-7.0
2.3		vento	1.2	-0.8			-5.0	-10.3
2.4		temperatura	0.0	0.0			-6.0	-13.6
2.5		neve	5.4	5.4			0.0	0.0
3.1	sismiche	prevenzione del collasso	16.4	0.0			412.3	0.0
4.1	accidentali	urto	15.4	4.5			0.0	0.0

## 9 RITEGNI E BAGGIOLI

### 9.1 RITEGNI

Per i ritegni trasversali si assume una superficie rettangolare in pianta di dimensioni 60x60 cm.

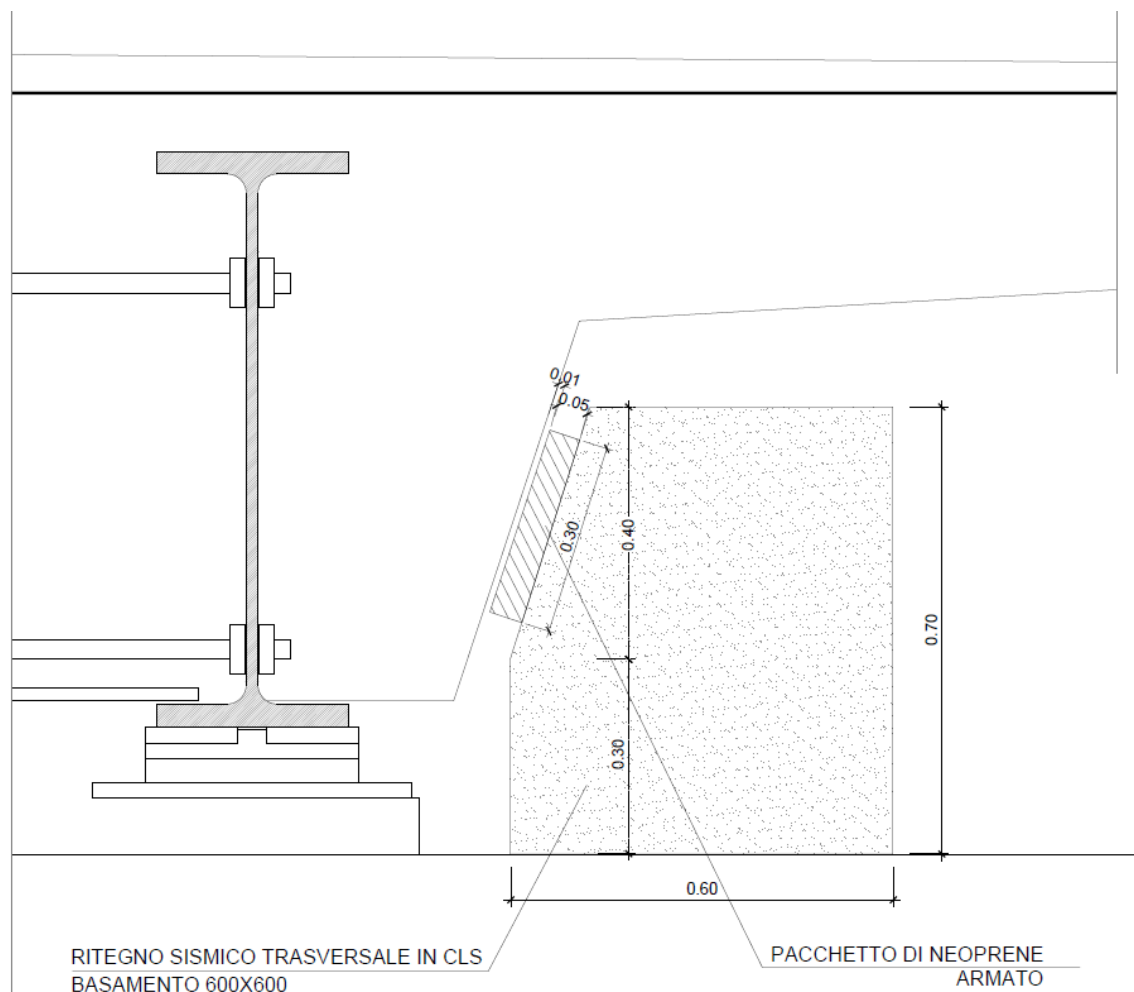


Figura 24 – Schema ritegno trasversale

Il taglio sismico trasmesso dall'impalcato è pari a 1304 kN in direzione trasversale, si riporta nelle tabelle seguenti il calcolo del taglio sismico.

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
SLV1	Combination	Max	1730.6	1974.1	7110.1
SLV1	Combination	Min	-1730.6	-1974.1	6814.3

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	62 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

SLV2	Combination	Max	1730.6	1974.1	7110.1
SLV2	Combination	Min	-1730.6	-1974.1	6814.3
SLV3	Combination	Max	1655.7	1936.8	7102.8
SLV3	Combination	Min	-1805.5	-2011.4	6807.0
SLV4	Combination	Max	1655.7	1936.8	7102.8
SLV4	Combination	Min	-1805.5	-2011.4	6807.0
SLV5	Combination	Max	1722.0	2570.9	7110.1
SLV5	Combination	Min	-1722.0	-2570.9	6814.3
SLV6	Combination	Max	1722.0	2570.9	7110.1
SLV6	Combination	Min	-1722.0	-2570.9	6814.3
SLV7	Combination	Max	1647.1	2533.6	7102.8
SLV7	Combination	Min	-1796.9	-2608.2	6807.0
SLV8	Combination	Max	1647.1	2533.6	7102.8
SLV8	Combination	Min	-1796.9	-2608.2	6807.0
SLV9	Combination	Max	796.7	1048.8	7455.2
SLV9	Combination	Min	-796.7	-1048.8	6469.2
SLV10	Combination	Max	796.7	1048.8	7455.2
SLV10	Combination	Min	-796.7	-1048.8	6469.2
SLV11	Combination	Max	721.9	1011.5	7447.9
SLV11	Combination	Min	-871.6	-1086.1	6461.9
SLV12	Combination	Max	721.9	1011.5	7447.9
SLV12	Combination	Min	-871.6	-1086.1	6461.9
SLV13	Combination	Max	1730.6	1974.1	7110.1
SLV13	Combination	Min	-1730.6	-1974.1	6814.3
SLV14	Combination	Max	1730.6	1974.1	7110.1
SLV14	Combination	Min	-1730.6	-1974.1	6814.3
SLV15	Combination	Max	1655.7	1936.8	7102.8
SLV15	Combination	Min	-1805.5	-2011.4	6807.0
SLV16	Combination	Max	1655.7	1936.8	7102.8
SLV16	Combination	Min	-1805.5	-2011.4	6807.0
SLV17	Combination	Max	1722.0	2570.9	7110.1
SLV17	Combination	Min	-1722.0	-2570.9	6814.3
SLV18	Combination	Max	1722.0	2570.9	7110.1
SLV18	Combination	Min	-1722.0	-2570.9	6814.3
SLV19	Combination	Max	1647.1	2533.6	7102.8
SLV19	Combination	Min	-1796.9	-2608.2	6807.0
SLV20	Combination	Max	1647.1	2533.6	7102.8
SLV20	Combination	Min	-1796.9	-2608.2	6807.0
SLV21	Combination	Max	796.7	1048.8	7455.2
SLV21	Combination	Min	-796.7	-1048.8	6469.2

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	63 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

SLV22	Combination	Max	796.7	1048.8	7455.2
SLV22	Combination	Min	-796.7	-1048.8	6469.2
SLV23	Combination	Max	721.9	1011.5	7447.9
SLV23	Combination	Min	-871.6	-1086.1	6461.9
SLV24	Combination	Max	721.9	1011.5	7447.9
SLV24	Combination	Min	-871.6	-1086.1	6461.9

max	1730.6	2570.9
Min	-1805.5	-2608.2

Scarichi su ritegni trasv	1304.108 kN
Scarichi su ritegni long	1805.5 kN

Si assume un comportamento a mensola tozza e si applica il carico orizzontale ad una quota di 0.5 m, di seguito si riporta la verifica eseguita.

### MENSOLA TOZZA

[C4.1.2.1.5]

**Acciaio**

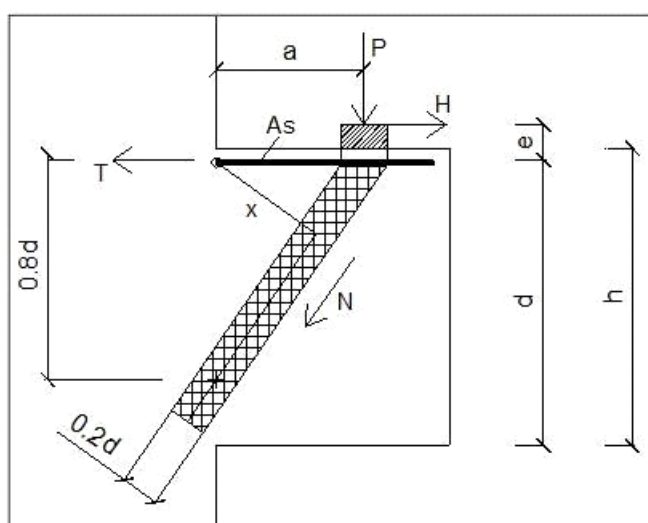
**B450C**

$f_{yk}$	450 MPa
$f_{yd}$	391.3 MPa

**Calcestruzzo**

**C32/40**

$R_{ck}$	40 MPa
$f_{ck}$	33.20 MPa
$f_{cd}$	18.81 MPa



$P_{Ed}$	1304.2 kN
$H_{Ed}$	0 kN
h	0.6 m
a	0.5 m
d	0.55 m
e	0 m
x	0.352 m
b	0.6 m

**Dati armatura**

$\phi$	24 mm
n_ferri	10
$A_s$	4523.89 mm <sup>2</sup>

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	64 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Angolo di inclinazione della biella di cls compressa

$\psi$

**45 °**

0.79 rad

$$\lambda = \cotg \psi \cong L / (0.9 d)$$

$\lambda$

1.23

1.00

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale superiore, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato di  $\psi$ , che riporta il carico  $P_{Ed}$  entro il bordo del pilastro. Attraverso l'equilibrio del nodo caricato si ottiene la portanza della mensola in termini di resistenza dell'armatura:

$$P_R = P_{Rs} = (A_s f_{yd} - H_{kd}) \frac{1}{\lambda}$$

$P_{Rs}$

1436.49 kN

$P_R \geq P_{Ed}$

**VERIFICATO**

Dovrà inoltre risultare una resistenza  $P_{Rc}$  del puntone di calcestruzzo non minore di quella correlata all'armatura con:

$$c \begin{cases} 1 & \text{per sbalzi di piastre non provvisti di staffatura} \\ 1.5 & \text{per sbalzi di travi provvisti di staffatura} \end{cases}$$

$$P_{Rc} = 0.4 b d f_{cd} \frac{c}{1 + \lambda^2} = 0.4 b d f_{cd} c \sin^2 \alpha \geq P_{Rs}$$

$P_{Rc}$

1479.00 kN

$P_{Rc} \geq P_s$

**VERIFICATO**

## 9.2 BAGGIOLI

I baggioli sono realizzati con un'unica trave disposta sotto le travi, pertanto si considera una larghezza pari alla distanza tra le travi. Le dimensioni sono quindi 100x57.7 cm. Il pacchetto complessivo appoggio più baggiolo ha uno spessore di 25 cm.

Di seguito si riportano gli scarichi in corrispondenza dell'appoggio fisso:

FISSO	
Nmax	Hmax
kN	kN
SLU	SLU
2250	1100

Si riporta di seguito la verifica considerando un comportamento a mensola tozza del baggiolo.



CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	65 di 66

Relazione di calcolo impalcato

## MENSOLA TOZZA

[C4.1.2.1.5]

**Acciaio**

**B450C**

$f_{yk}$  450 MPa

$f_{yd}$  391.3 MPa

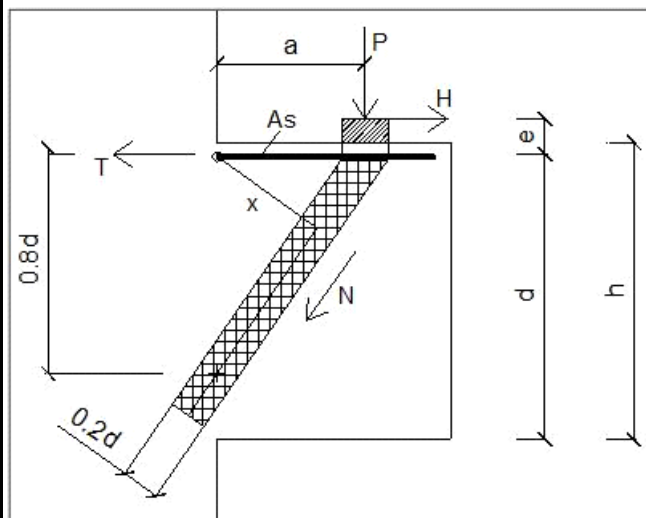
**Calcestruzzo**

**C32/40**

$R_{ck}$  40 MPa

$f_{ck}$  33.20 MPa

$f_{cd}$  18.81 MPa



$P_{Ed}$  1100 KN

$H_{Ed}$  -2250 KN

$h$  1 m

$a$  0.2 m

$d$  0.95 m

$e$  0 m

$x$  0.195 m

$b$  0.577 m

Dati armatura

$\phi$	10 mm
$n_{ferri}$	2
$A_s$	157.08 mm <sup>2</sup>

**CAVALCAFERROVIA ELLERA CORCIANESE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IV0109 001	A	66 di 66

**Relazione di calcolo impalcato**

Angolo di inclinazione della biella di cls compressa

$\psi$

**45 °**

0.79 rad

$$\lambda = \cotg \psi \cong L / (0.9 d)$$

$\lambda$

0.46

1.00

Il meccanismo resistente è costituito da un tirante orizzontale superiore, corrispondente all'armatura tesa, e da un puntone di calcestruzzo inclinato di  $\psi$ , che riporta il carico  $P_{Ed}$  entro il bordo del pilastro. Attraverso l'equilibrio del nodo caricato si ottiene la portanza della mensola in termini di resistenza dell'armatura:

$$P_R = P_{Rs} = (A_s f_{yd} - H_{kd}) \frac{1}{\lambda}$$

$P_{Rs}$

5067.44 kN

$P_R \geq P_{Ed}$

**VERIFICATO**

Dovrà inoltre risultare una resistenza  $P_{Rc}$  del puntone di calcestruzzo non minore di quella correlata all'armatura con:

$$c \begin{cases} 1 & \text{per sbalzi di piastre non provvisti di staffatura} \\ 1.5 & \text{per sbalzi di travi provvisti di staffatura} \end{cases}$$

$$P_{Rc} = 0.4 b d f_{cd} \frac{c}{1 + \lambda^2} = 0.4 b d f_{cd} c \sin^2 \alpha \geq P_{Rs}$$

$P_{Rc}$

5121.85 kN

$P_{Rc} \geq P_s$

**VERIFICATO**