

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: F81H9100000008

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

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

LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

SCALA:

-

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

I N O W 0 0 R 2 6 C L V I 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P. Luciani	Giugno 2019	C. Laporta	Giugno 2019	A. Campanella	Giugno 2019	Francesco Sacchi Giugno 2019
								 ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD Data: 19/06/2019 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 23072/2019

File: IN0W00R26CLIV0000001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
2	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
1.1	NORMATIVA.....	7
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	9
4.1	CALCESTRUZZO	9
4.1.1	FONDAZIONI – PALI.....	9
4.1.2	ELEVAZIONE SOTTOSTRUTTURE.....	9
4.1.3	MURI.....	10
4.1.4	SOLETTA IMPALCATO.....	11
4.2	ACCIAIO DA CARPENTERIA	13
4.2.1	TRAVI PRINCIPALI E ORDITURE SECONDARIE.....	13
4.2.2	BULLONATURE	14
4.2.3	PIOLATURE.....	14
4.2.4	SALDATURE.....	14
4.3	ACCIAIO PER ARMATURE	15
4.4	COPRIFERRI MINIMI.....	15
5	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	16
5.1	TERRENO DI FONDAZIONE.....	16
5.2	TERRENO DI RINFIANCO	16
6	ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO.....	17
6.1	CARICHI PERMANENTI G.....	ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.
6.1.1	PESO PROPRIO ELEMENTI STRUTTURALI G1	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.1.2	PESO PROPRIO ELEMENTI NON STRUTTURALI G2	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.1.3	SPINTA DELLA TERRA G3.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.2	CARICHI ACCIDENTALI MOBILI Q1.....	ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.



LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale **QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA**

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOW	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	3 di 50

6.3	INCREMENTO DINAMICO IN PRESENZA DI DISCONTINUITA' STRUTTURALI Q2	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6.4	AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO Q3	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6.5	AZIONE CENTRIFUGA Q4	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6.6	AZIONE DEL VENTO Q5	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6.7	AZIONI SISMICHE Q6	32
6.8	URTI DA TRAFFICO FERROVIARIO Q7	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6.9	URTI ACCIDENTALI Q8	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6.10	RESISTENZE PARASSITE DEI VINCOLI Q9	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
6.11	DEFORMAZIONI IMPRESSE ϵ	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
7	COMBINAZIONI DI CARICO	36
8	CRITERI DI MODELLAZIONE	40
9	CRITERI DI VERIFICA	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
9.1	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
9.1.1	VERIFICA A FESSURAZIONE	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
9.1.2	VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
9.1.3	VERIFICA DELLA DEFORMABILITA'	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
9.2	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
9.2.1	SOLLECITAZIONI FLETTENTI	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
9.2.2	SOLLECITAZIONI TAGLIANTI	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
9.3	VERIFICA A FATICA	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
10	ANALISI DEI RISULTATI IMPALCATO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
10.1	SOLLECITAZIONI AGENTI 1 ^A FASE	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
10.2	SOLLECITAZIONI 2 ^A FASE	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
11	VERIFICHE IMPALCATO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
11.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.



LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale **QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA**

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOW	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	4 di 50

- 11.1.1 Valutazione della larghezza collaborante della soletta..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- 11.1.2 Caratteristiche geometriche delle sezioni d'acciaio **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- 11.1.3 Caratteristiche meccaniche delle travi..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- 11.2 VERIFICHE 1^A FASE **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 11.3 VERIFICHE DI INSTABILITÀ **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 11.4 VERIFICHE A FATICA **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 12 VERIFICHE A DEFORMABILITÀ **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 13 SOLETTA - SOLLECITAZIONI E VERIFICHE..... **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 13.1 MODELLO DI CALCOLO A PIASTRA..... **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 13.2 ANALISI DEI CARICHI DELLA SOLETTA **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 13.3 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI ED ARMATURE DELLA SOLETTA **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 13.4 VERIFICA DELLA SOLETTA **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
- 13.5 VERIFICA DELLA SOLETTA IN SENSO LONGITUDINALE **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli statici e le verifiche di sicurezza relative all'impalcato tipologico ferroviario, nell'ambito delle opere relative al Quadruplicamento della attuale linea ferroviaria storica in uscita da Brescia.

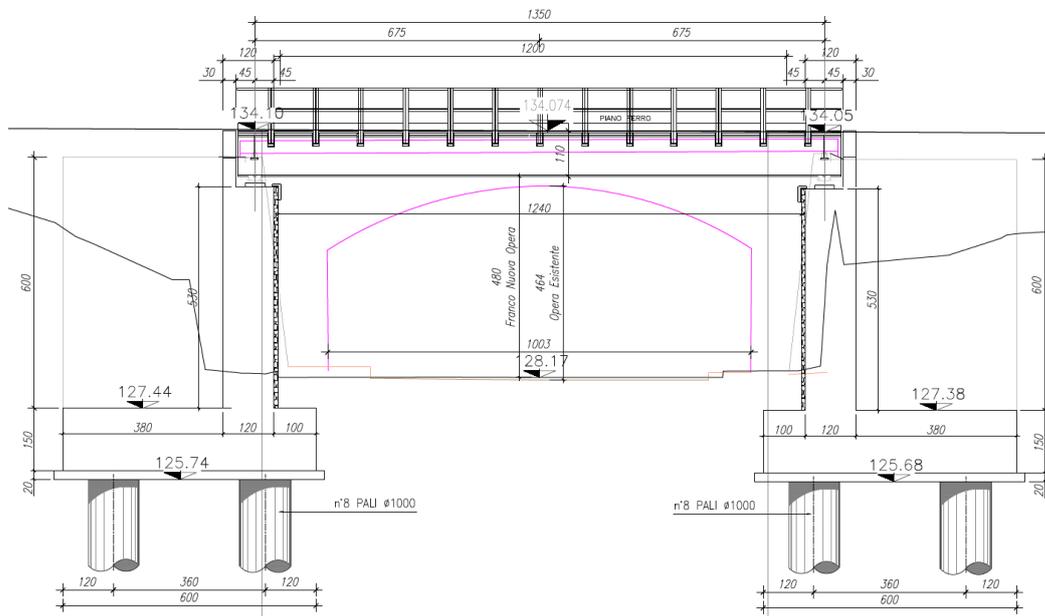


Figura 1: Prospetto longitudinale

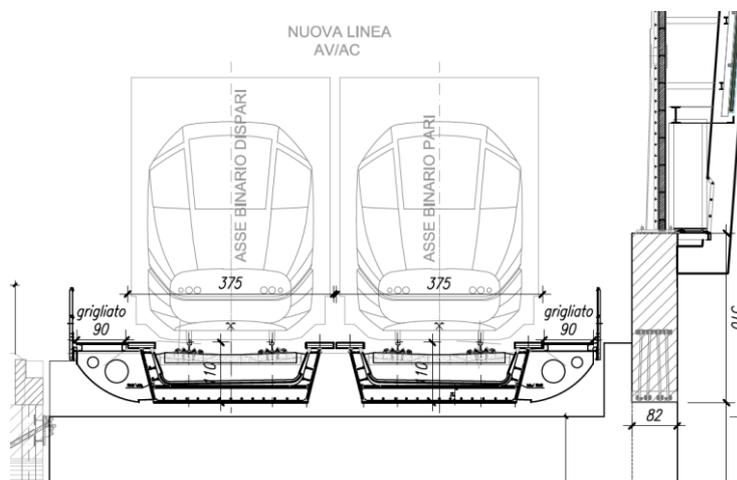


Figura 2: Sezione trasversale

2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura dell'impalcato è costituita da un cassone aperto in acciaio rivestito da un getto di cls collaborante avente lo scopo di sagomare la vasca porta ballast e di conferire una sufficiente rigidezza al sistema evitando fenomeni di instabilità locale.

Il cassone in acciaio, dal punto di vista strutturale, può essere schematizzato come due travi a doppio T ad anime inclinate e ala inferiore disassata. Le due anime disassate si uniscono al centro dell'impalcato e formano la piattabanda inferiore del cassone.

Le due travi sono collegate trasversalmente da nervature, con funzione di trasversi, costituite profilati HEM 300 privati di un ala e saldati in anima alla piattabanda inferiore. L'anima del profilato HEM 300 è forata per alloggiare le armature longitudinali inferiori della soletta in cls di impalcato.

L'impalcato è stato studiato mediante il sw di calcolo MIDAS Civil software specifico per l'analisi di impalcato da ponte.

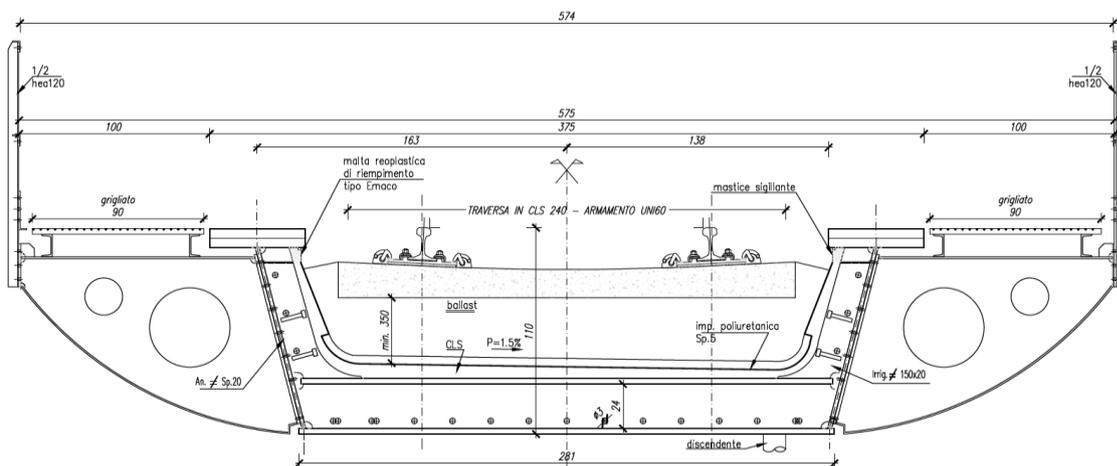


Figura 3: Sezione tipo

La luce di calcolo è pari a 13.5m (asse appoggi).

	LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA					
	Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA					
Relazione di predimensionamento opere ferroviarie	COMMESSA IN0W	LOTTO 00	CODIFICA R 26 CL	DOCUMENTO VI 00 00 001	REV. A	FOGLIO 7 di 50

3NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1.1 NORMATIVA

L'analisi dell'opera e le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte in accordo con le vigenti disposizioni legislative e in particolare con le seguenti norme e circolari:

- Decreto Ministeriale del 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 del 17 gennaio 2018.

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 – Pesì per unità di volume, pesì 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.
- UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-2 – Gennaio 2006: Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi.
- UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- 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".

- UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1 UNI 11104/2016;
- RFI DTC SI MA IFS 001 C – Dicembre 2018: Manuale di progettazione delle opere civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 C – Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – RFI;
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18/11/2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

4.1 CALCESTRUZZO

4.1.1 FONDAZIONI – PALI

Per le strutture in fondazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

C25/30: $f_{ck} \geq 25$ MPa $R_{ck} \geq 30$ MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	30	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	24,90	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32,90	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	16,60	N/mm ²
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	14,11	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	2,56	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	1,79	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,07	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,19	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	31447	N/mm ²

4.1.2 ELEVAZIONE SOTTOSTRUTTURE

Per le strutture in elevazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC4+XF1

C32/40: $f_{ck} \geq 32$ MPa $R_{ck} \geq 40$ MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33,20	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41,20	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22,13	N/mm ²
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18,81	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	3,10	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2,17	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,72	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,45	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	N/mm ²

4.1.3 MURI

Classe d'esposizione: XC4

C32/40: $f_{ck} \geq 32$ MPa $R_{ck} \geq 40$ MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	40	N/mm ²
--	----------	-----------	-------------------

Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33,20	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41,20	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22,13	N/mm ²
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18,81	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	3,10	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2,17	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,72	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,45	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	N/mm ²

4.1.4 SOLETTA IMPALCATO

Per il getto in opera della soletta di impalcato si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC4 – XF4

C32/40: $f_{ck} \geq 32 \text{ MPa}$ $R_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33,20	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41,20	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22,13	N/mm ²

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOW	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	12 di 50

Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18,81	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad [R_{ck} < 50/60]$	3,10	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2,17	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,72	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,45	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	N/mm ²

4.2 ACCIAIO DA CARPENTERIA

4.2.1 TRAVI PRINCIPALI E ORDITURE SECONDARIE

La carpenteria metallica sarà realizzata in acciaio autopatinante tipo CORTEN, conforme alle prescrizioni delle NTC 2018 e della EN 10025 e dovranno essere collaudati nel rispetto dell'Istruzione RFI 44 M.

In particolare si utilizzerà:

- Acciaio S355J2G3 per elementi saldati in acciaio ($S < 40\text{mm}$)
- Acciaio S355K2G3 per elementi saldati in acciaio ($S > 40\text{mm}$)
- Acciaio S355J0 per elementi non saldati e piastre sciolte,

con le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento ($t \leq 40\text{mm}$) $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento ($t > 40\text{mm}$) $f_{yk} \geq 335 \text{ MPa}$
- allungamento $\epsilon_t \geq 21\%$
- tensione di calcolo ($t \leq 40\text{mm}$) $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 338 \text{ MPa}$
- (verifiche di resistenza) $\gamma_{M0} = 1.05$
- tensione di calcolo ($t > 40\text{mm}$) $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 319 \text{ MPa}$
- (verifiche di resistenza) $\gamma_{M0} = 1.05$
- tensione di calcolo ($t \leq 40\text{mm}$) $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 322 \text{ MPa}$
- (per le verifiche di stabilità delle membrature) $\gamma_{M1} = 1.10$
- tensione di calcolo ($t \leq 40\text{mm}$) $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 305 \text{ MPa}$
- (per le verifiche di stabilità delle membrature) $\gamma_{M1} = 1.10$

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA					
	Relazione di predimensionamento opere ferroviarie	COMMESSA IN0W	LOTTO 00	CODIFICA R 26 CL	DOCUMENTO VI 00 00 001	REV. A

Tutte le giunzioni per l'assemblaggio dei conci delle travi portanti, sia quelle da eseguire in officina che quelle in cantiere, saranno di tipo saldato a completa penetrazione. I traversi intermedi, di pila e di spalla saranno collegati alle travi principali attraverso giunzioni bullonate.

4.2.2 BULLONATURE

Le giunzioni bullonate saranno realizzate con bulloni ad alta resistenza aventi le seguenti caratteristiche (UNI EN 20898):

- giunzioni ad attrito $i = 0,45$
- vite classe 10.9 (UNI 5712)
- tensione di rottura a trazione $f_t \geq 1000 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento $f_y \geq 900 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica $f_{k,N} \geq 700 \text{ MPa}$
- dado classe 10 (UNI 5713)
- rosetta acciaio C50 UNI EN 10083
- forza di serraggio $N_s = 0,8 f_{k,N} A_{res}$
- coppia di serraggio $T_s = 0,2 N_s d$
-

4.2.3 PIOLATURE

L'acciaio costituente il piolo deve essere compatibile per la saldatura con il materiale costituente l'elemento strutturale interessato dai pioli; esso dovrà avere le seguenti caratteristiche meccaniche risultanti dal prodotto secondo UNI EN ISO 13918 qualità S235 J2 G3 + C 450 (ex ST37-3K DIN 20049)

- materiale base Acciaio S235J2G3+C450 (ex ST37-3K)
- tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} > 350 \text{ MPa}$
- tensione di rottura a trazione $f_{tk} > 510 \text{ MPa}$

4.2.4 SALDATURE

Le saldature dovranno essere realizzate secondo le indicazioni della normativa vigente, NTC 2018, ISO 4063, EN 1011, EN 29692 e EN 12062



LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOW	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	15 di 50

Tutte le giunzioni per l'unione dei conci delle travi principali e dei traversi saranno eseguite con saldature testa a testa a completa penetrazione di 1^a classe.

Tutte le saldature dovranno essere realizzate e collaudate nel rispetto dell'istruzione RFI 44 S.

4.3 ACCIAIO PER ARMATURE

Tipo B450C saldabile, per diametri compresi tra 6 e 40 mm:

$$f_{\text{ynom}} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{tnom}} = 540 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{yk}} \geq f_{\text{ynom}} \text{ frattile } 5\%$$

$$f_{\text{tk}} \geq f_{\text{tnom}} \text{ frattile } 5\%$$

$$1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35 \text{ frattile } 10\%$$

$$(f_y/f_{\text{ynom}})_k \leq 1.25 \text{ frattile } 10\%$$

$$\text{Allungamento } (A_{\text{gt}})_k \geq 7.5\% \text{ frattile } 10\%$$

Reti e tralicci elettrosaldati:

$$f_{\text{yk}} \geq 390 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{tk}} \geq 440 \text{ MPa}$$

$$(f_{\text{tk}}/f_{\text{yk}}) \geq 1.10$$

4.4 COPRIFERRI MINIMI

Si riportano di seguito i copriferri minimi per le strutture in calcestruzzo armato:

Soletta impalcato

4.5 cm

Elevazione pile e spalle 4.5 cm

Fondazione pile e spalle 5.0 cm

Pali 6.0 cm

5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

5.1 TERRENO DI FONDAZIONE

Si individua la presenza di falda a quota -12m da p.c., dunque al di sotto del piano di imposta della fondazione in c.a.

5.2 TERRENO DI RINFIANCO

Sono riassunte nel prospetto riportato di seguito le caratteristiche del terreno di rinfianco (con γ pari al peso specifico del terreno; γ_{sat} pari al peso specifico saturo del terreno; c' pari alla coesione; φ' pari all'angolo di attrito; K_0 coefficiente di spinta a riposo):

Parametri del terreno				
γ	γ_{sat}	c'	φ'	K_0
(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(-)
20.00	20.00	0.0	35.0	0.426

1.

Figura 4: Parametri geotecnici del terreno di rinfianco

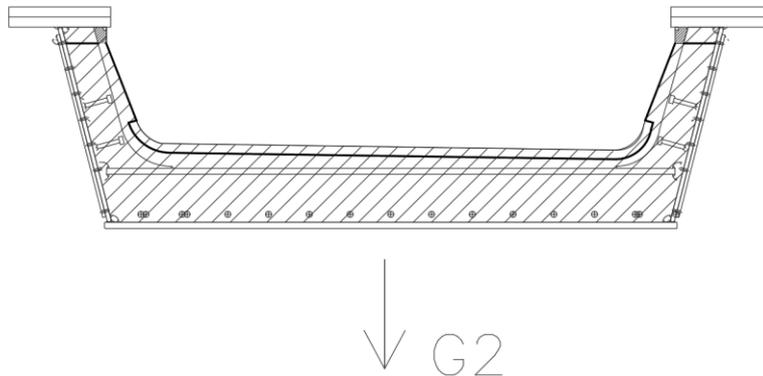
6 ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO

6.1 PESO DELL'IMPALCATO METALLICO: G1

La sezione trasversale resistente dell'impalcato è una sezione a cassone aperto in acciaio le cui caratteristiche di peso resistenza e rigidezza sono considerate intrinsecamente nel modello sulla base della definizione della sezione trasversale di acciaio.

6.2 PESO VASCA PORTA BALLAST E TRASVERSI IN ACCIAIO: G2

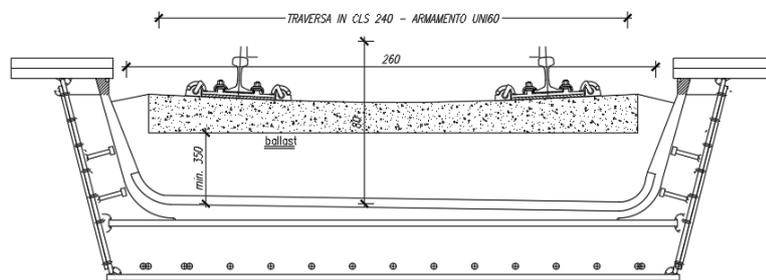
Il peso della soletta in cls e delle nervature in essa inglobate è stato valutato sulla base del volume per unità di sviluppo longitudinale assumendo per essa un peso dell'unità di volume pari a 25 kN/m³.



Area soletta	A	1.30	m ²
Peso dell'unità di volume del cls	γ_{cls}	25	kN/m ³
Carico applicato	g_2	32.5	kN/m

6.3 MASSICCIAIA + ARMAMENTO + IMPERMEABILIZZAZIONE: G3

Per la determinazione dei carichi permanenti portati, relativi al peso della massicciata, dell'armamento e dell'impermeabilizzazione si assume convenzionalmente un peso di unità di volume pari a 18 kN/m^3 applicato su tutta la larghezza media della vasca porta ballast per una altezza media fra piano del ferro ed estradosso vasca porta ballast pari a 80cm.

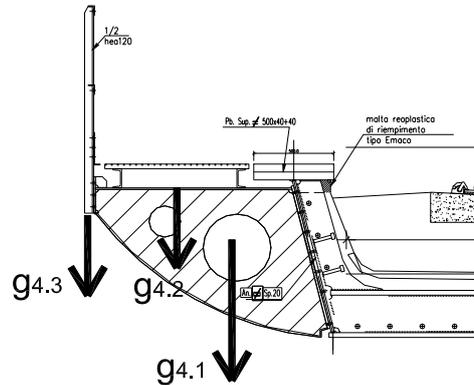


↓ G3

Area massicciata + armamento	A	2.08	m^2
Peso dell'unità di volume del cls	γ_{cls}	18	kN/m^3
Carico applicato	g_2	37.44	kN/m

6.4 SBALZI LATERALI: G4

Gli sbalzi laterali, realizzati mediante piatti verticali sagomati dotati di ala estrema, sostengono sia il camminamento realizzato mediante profilati UPN120 e grigliato keller, che il parapetto realizzato con montati costituiti da Profilati HEA120.

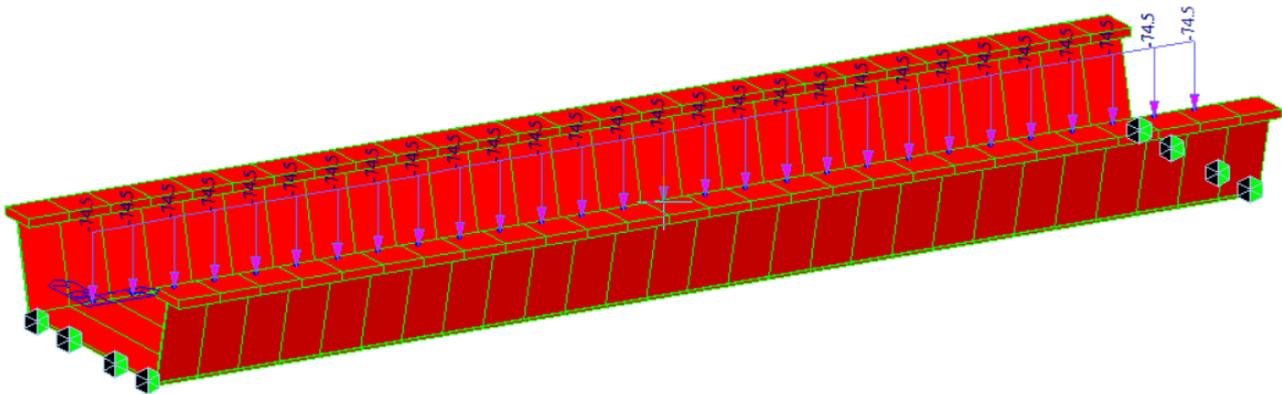


Area piatto verticale sagomato	A_p	0.89	m^2
Spessore piatto	sp	0.01	m
Volume piatto	V_p	0.00890	m^3
Larghezza ala	la	0.14	m
Spessore ala	sa	0.015	m
Sviluppo	pa	1.8	m
Volume ala	V_a	0.00378	m^3
Volume totale costola	$V_t = V_p + V_a$	0.01268	m^3
Peso dell'unità di volume acciaio	γ_a	78.5	kN/m^3
Peso costola	P_1	0.995	kN
interasse costole	i	1	m
Peso costole per unità di lunghezza	g4.1	0.99538	kN/m
2 UPN 120 camminamento	g_{UPN}	0.268	kN/m
Grigliato Keller $l=0.90m$	g_{keller}	0.36	kN/m
Peso camminamento	g4.2	0.628	kN/m
Parapetto HEA120 L=130 / 1m + orizzontali (25%)	g4.3	0.64675	kN/m
Peso totale sbalzi	g4	2.27013	kN/m

Il totale dei carichi permanenti è pari a:

$$g_{2-4} = 32.5 + 37.44 + (2*2.27) = 74.48 \text{ kN/m}$$

Tale carico è stato applicato al modello come un carico uniformemente distribuito sulla luce dell'impalcato.



6.5 AZIONI VARIABILI VERTICALI

I carichi da traffico ferroviario sono stati definiti, secondo quanto previsto nel DM 17/01/2018, per mezzo di due modelli di carico: il primo rappresentativo del traffico normale (Treno di carico LM 71), il secondo rappresentativo del traffico pesante (Treno di carico SW). Sono state considerate tre tipologie di carico i cui valori caratteristici LM 71, SW/0 e SW/2 sono definiti nel seguito.

I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento $\alpha = 1.1$

Treno di carico LM71

Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e risulta costituito come riportato nella figura seguente.

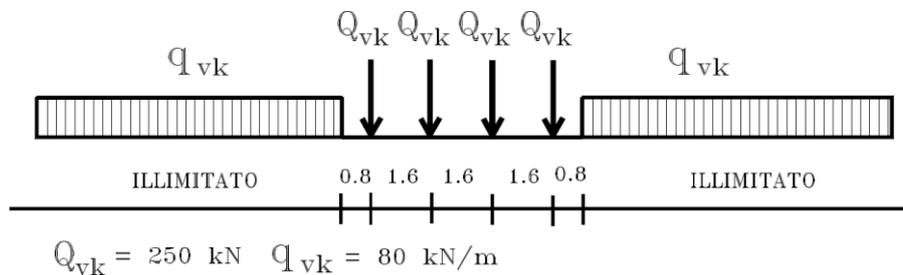
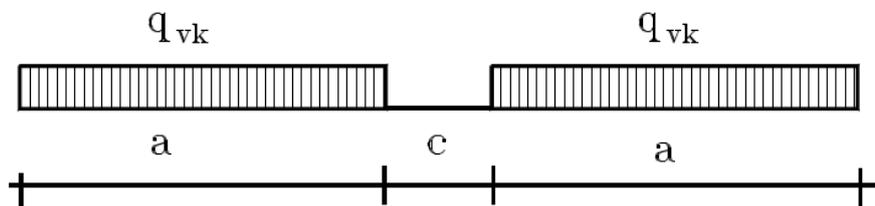


Figura 5: Treno di carico LM71



	LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA				
	Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA				
Relazione di predimensionamento opere ferroviarie	COMMESSA IN0W	LOTTO 00	CODIFICA R 26 CL	DOCUMENTO VI 00 00 001	REV. FOGLIO A 22 di 50

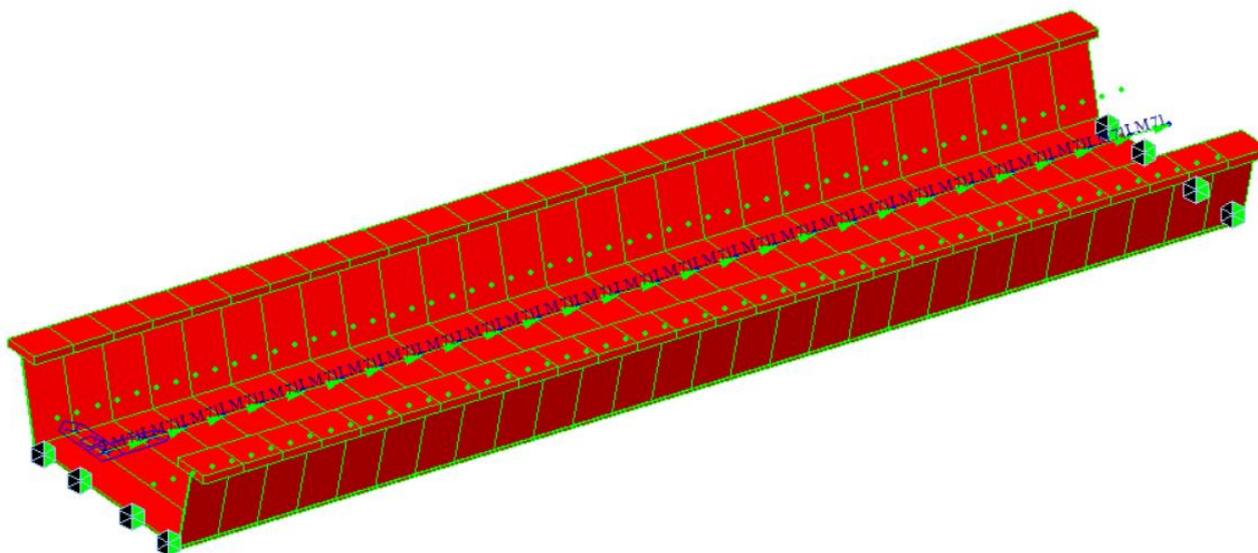
Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

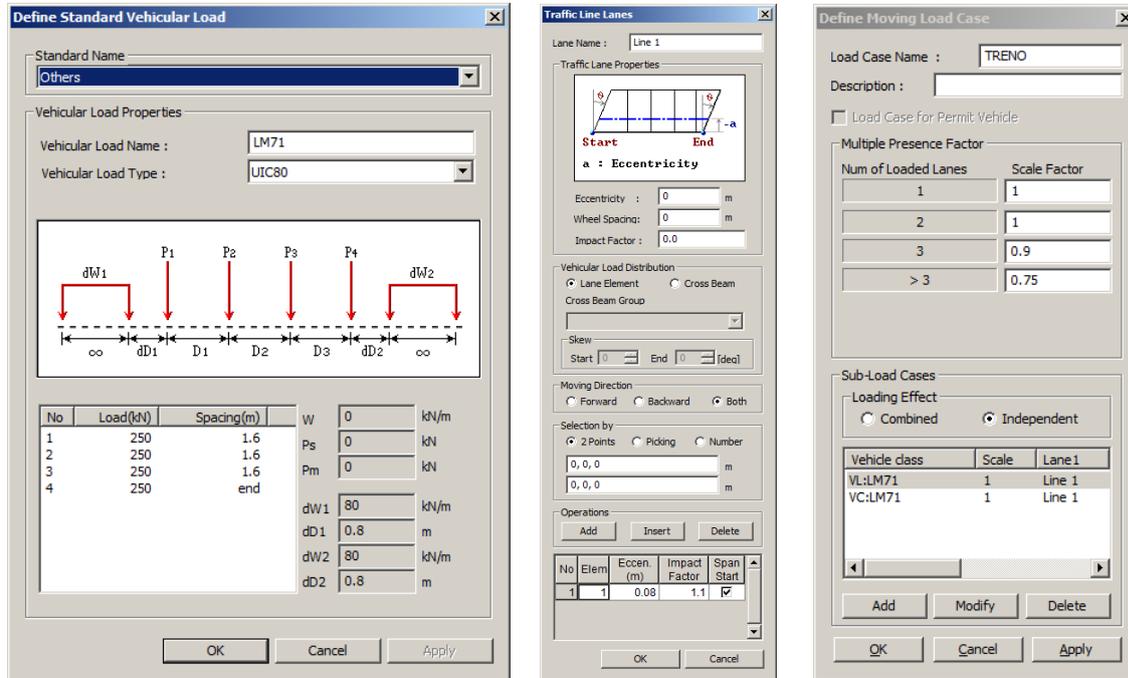
Figura 6: Treni di carico SW/2 - SW0

Per questi modelli di carico è prevista una eccentricità nella direzione più sfavorevole del carico rispetto all'asse del binario, dipendente dallo scartamento s per tenere conto dello spostamento dei carichi. Tale eccentricità è pari a $s/18$ che con $s = 1435$ mm vale $1435/18 = 80$ mm.

Talle figure precedenti è evidente che per impalcati di luci modeste come l'impalcato in esame il treno di carico più gravoso è l'LM71, pertanto nelle analisi è stato considerato solo quest'ultimo.

Nel modello di calcolo è stato implementato il treno di carico LM71 come un carico mobile viaggiante lungo un asse (line). Da esso scaturisce la condizione di carico "Treno" che corrisponde a tutte le possibili posizioni del convoglio che massimizzano le sollecitazioni sull'impalcato.





1.1.1.1 Effetti dinamici e coefficiente di adattamento

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture del ponte dall'applicazione statica dei treni di carico sono state incrementate per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Il coefficiente di incremento dinamico per linee con ridotto standard manutentivo e luce pari a $L_0=13.5m$ vale:

$$\Phi_3 = 2.16 / ((L_0-0.2))^{0.5} + 0.73 = 2.16 / ((13.5-0.2))^{0.5} + 0.73 = 1.32$$

6.6 AZIONI LATERALE DI SERPEGGIO

E' stata considerata la forza laterale indotta dal serpeggio considerata come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario.

Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a $Q_{sk}=100$ kN. Tale valore deve essere moltiplicato per α , ma non per il coefficiente dinamico Φ .

Questa forza laterale è stata applicata al modello come una forza concentrata di intensità $F=1.1 \cdot 100 = 110 \text{ kN}$ sia in mezzeria dell'impalcato che all'appoggio.

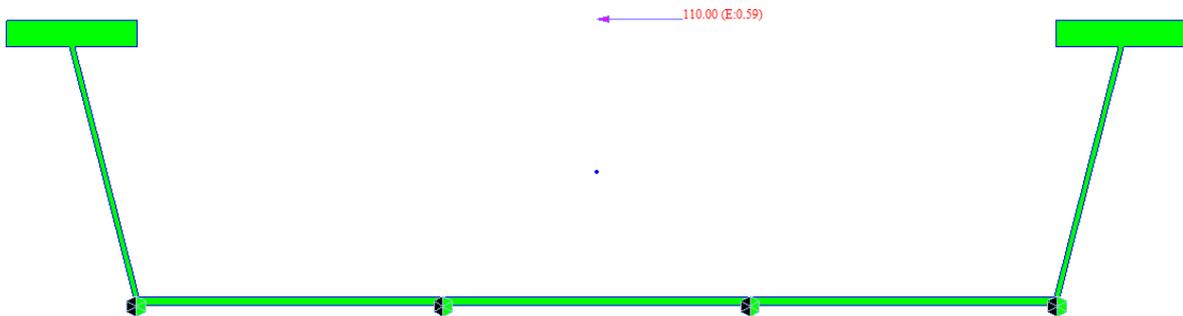


Figura 7: Forza di serpeggio

6.7 AZIONI DI AVVIAMENTO E FRENATURA

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario, nella direzione

longitudinale dello stesso. Dette forze sono da considerarsi uniformemente distribuite su una lunghezza di binario L determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento strutturale considerato.

I valori caratteristici considerati sono i seguenti:

$$q_{la,k} = 33 \text{ kN/m}$$

per una azione complessiva di $Q_{la,k} = 33 \cdot L = 33 \cdot 13.5 = 445.5 \text{ kN}$

6.8 AZIONE DEL VENTO

L'intensità della pressione cinetica è stata calcolata come da normativa NTC2018.

AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

DEFINIZIONE DEI DATI

zona:

1) Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)



Classe di rugosità del terreno:

A) Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Nelle fasce entro i 40km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

a_c (altitudine sul livello del mare della costruzione):

Distanza dalla costa

T_R (Tempo di ritorno):

Categoria di esposizione

130	[m]
160	[km]
105	[anni]
V	

	ZONE 1,2,3,4,5					
	costa	mare	2 km	10 km	30 km	500m
A	--	IV	IV	IV	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**

* Categoria II in zona 1,2,3,4
Categoria III in zona 5

** Categoria III in zona 2,3,4,5
Categoria IV in zona 1

	ZONA 6				
	costa	mare	2 km	10 km	30 km
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

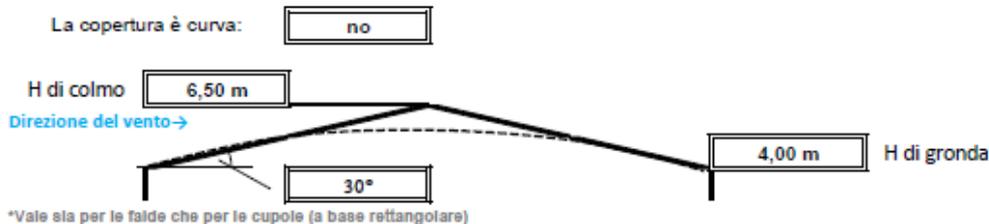
	ZONE 7,8		
	mare	1.5 km	0.5 km
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*

* Categoria II in zona 8

	ZONA 9	
	mare	costa
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento

E' consigliabile calcolare la pressione del vento per ogni facciata del fabbricato modificando i parametri per ogni caso. Nel caso di studio su prospetto di timpano, la valutazione della pressione del vento si conduce come se la copertura fosse piana e la parete alta fino alla linea di colmo. Nel caso di coperture a padiglione, la valutazione delle pressioni si esegue su ogni facciata del fabbricato utilizzando di volta in volta l'angolo della falda investito dal vento. Nel caso di coperture curve, si deve inserire l'angolo della retta tangente al bordo della copertura, in sostanza l'angolo di attacco della copertura. (per cupole a tutto sesto l'angolo è di 90°, per cupole a sesto ribassato è minore di 90°). Nel caso di studio su prospetto piano l'analisi si conduce come su prospetto di timpano. Si osserva che oltre alle pressioni andrebbe considerata anche la forza tangenziale esercitata dal vento sul fabbricato. Generalmente essa si trascura, è necessaria modellarla solo per grandi coperture piane ad esempio: coperture di grandi capannoni industriali. Il foglio di calcolo è utilizzabile per fabbricati a base rettangolare.



CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.

Zona	v _{b,0} [m/s]	a ₀ [m]	k _s	C _a
1	25	1000	0,4	1,000

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

ca = 1 per as ≤ a0
ca = 1 + ks (as/a0 - 1) per a0 < as ≤ 1500 m

v_b (velocità base di riferimento) 25,00 m/s

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

Cr coefficiente di ritorno 1,04
v_r (velocità di riferimento) 26,05 m/s

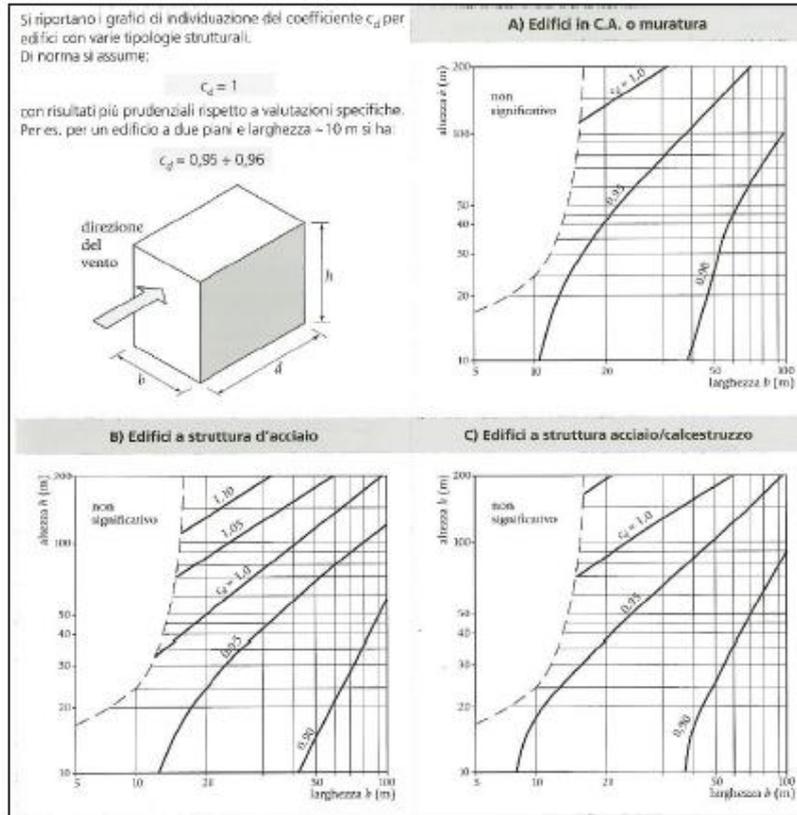
PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.

q_r (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
q_r = 1/2 · ρ · v_r² (ρ = 1,25 kg/m³)
Pressione cinetica di riferimento q_r 424,04 [N/m²]

CALCOLO DEI COEFFICIENTI

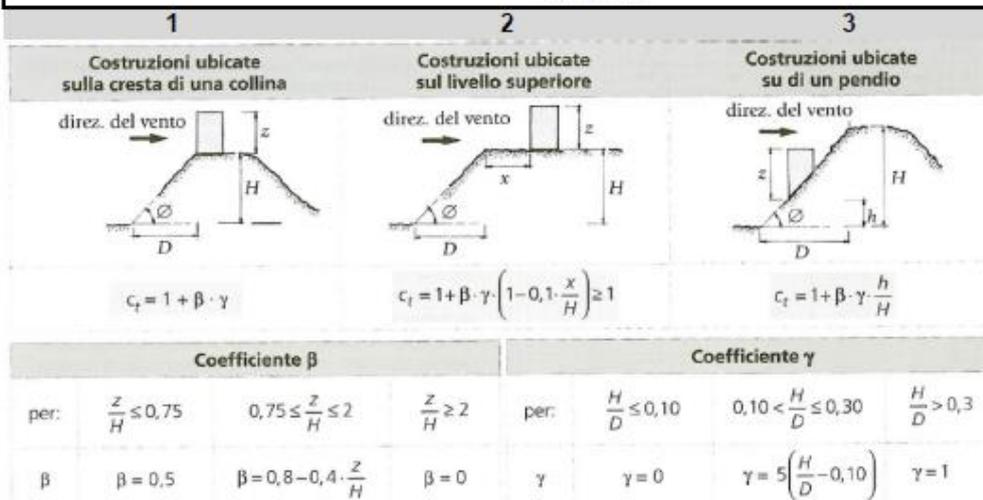
Coefficiente dinamico [§3.3.8]

Esso può essere assunto cautelativamente 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 Topografico (Orografico)

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:



Caso selezionato:

Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale: c_t 1,00

Coefficiente di esposizione [§3.3.7]

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di $z=200\text{m}$ valgono le seguenti espressioni

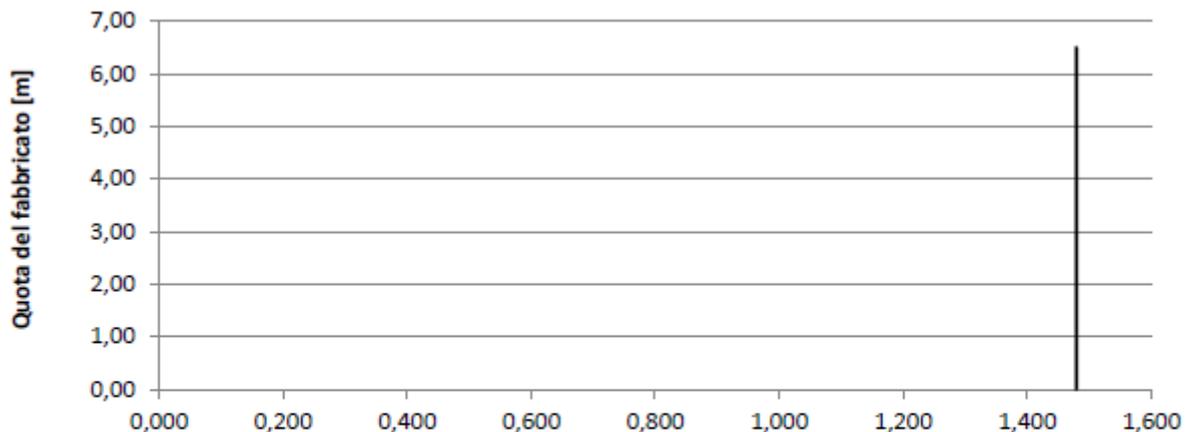
$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

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

k_r	z_0 [m]	z_{\min} [m]
0,23	0,70	12,00

Coefficiente di esposizione minimo	$c_{e,\min}$	1,48	$z < 12,00$
Coefficiente di esposizione alla gronda	$c_{e,\text{gronda}}$	1,48	$z = 4,00$
Coefficiente di esposizione al colmo	$c_{e,\text{colmo}}$	1,48	$z = 6,50$

Andamento Coefficiente di Esposizione



Coefficiente di forma

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve

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.

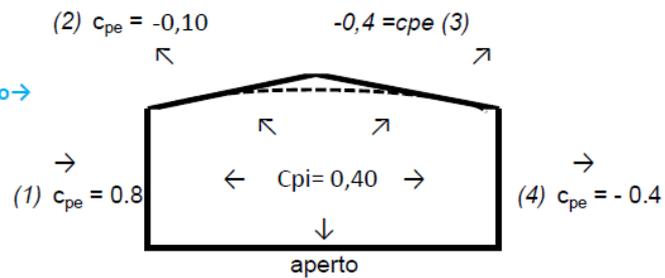
Costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale

Configurazione più svantaggiosa

Configurazione A

(1) parete sopravento	c_p	0,40
(2) copertura sopravento	c_p	-0,50
(3) copertura sottovento	c_p	-0,80
(4) parete sottovento	c_p	-0,80

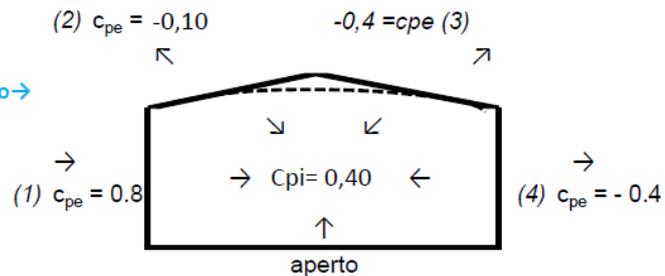
Direzione del vento →



Configurazione A

(1) parete sopravento	c_p	1,20
(2) copertura sopravento	c_p	0,30
(3) copertura sottovento	c_p	0,00
(4) parete sottovento	c_p	0,00

Direzione del vento →



Configurazione B

PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_r \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$$

c_d (coefficiente dinamico) c_t (coefficiente topografico) c_e (coefficiente di esposizione)

c_p (coefficiente di forma)

	p [kN/m ²]	c_d	c_t	c_e	c_p	P [kN/m ²]
(1) par. sopravent.	0,424	1,00	1,00	1,479	0,40	0,25
(2) cop. sopravent.	0,424	1,00	1,00	1,479	-0,50	-0,31
(3) cop. Sottovent.	0,424	1,00	1,00	1,479	-0,80	-0,50
(4) par. sottovent.	0,424	1,00	1,00	1,479	-0,80	-0,50

(2) copertura sopravento
-0,31 kN/mq

(3) copertura sottovento
-0,50 kN/mq

→

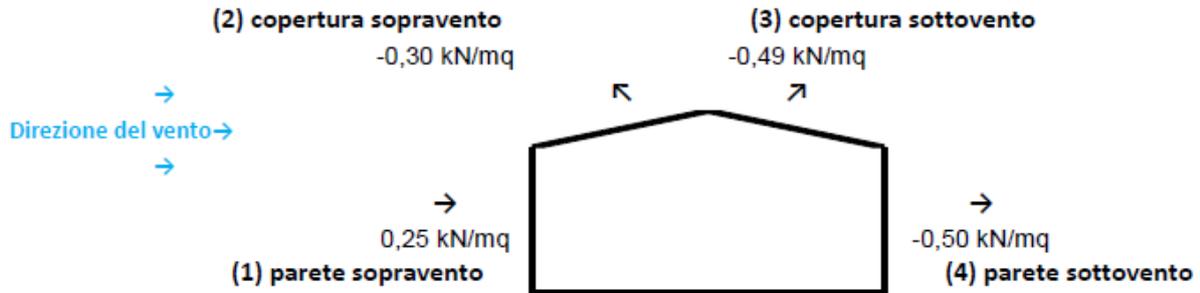
↖

↗

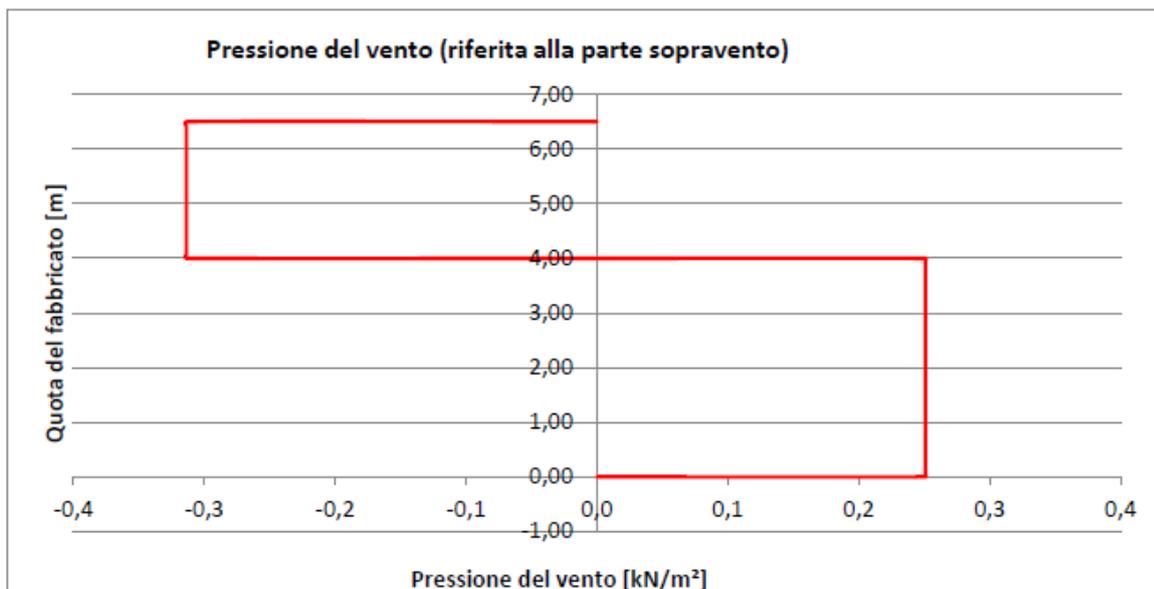
Direzione del vento →



Valori medi della pressione per ogni elemento (da utilizzare per caricare il modello FEM)



Andamento delle pressioni più svataggiose



Il treno viene individuato come una superficie piana continua convenzionalmente alta 4 m dal P.F..

L'azione del vento, che interessa anche la struttura dell'impalcato viene quindi ad esplicarsi su di una superficie di 5.10m di altezza, avente una risultante dell'azione per metro lineare pari a $0.5 * 5.1 = 2.55 \text{ kN/m}$ che si esercita a 2.01m dal baricentro del cassone di acciaio.

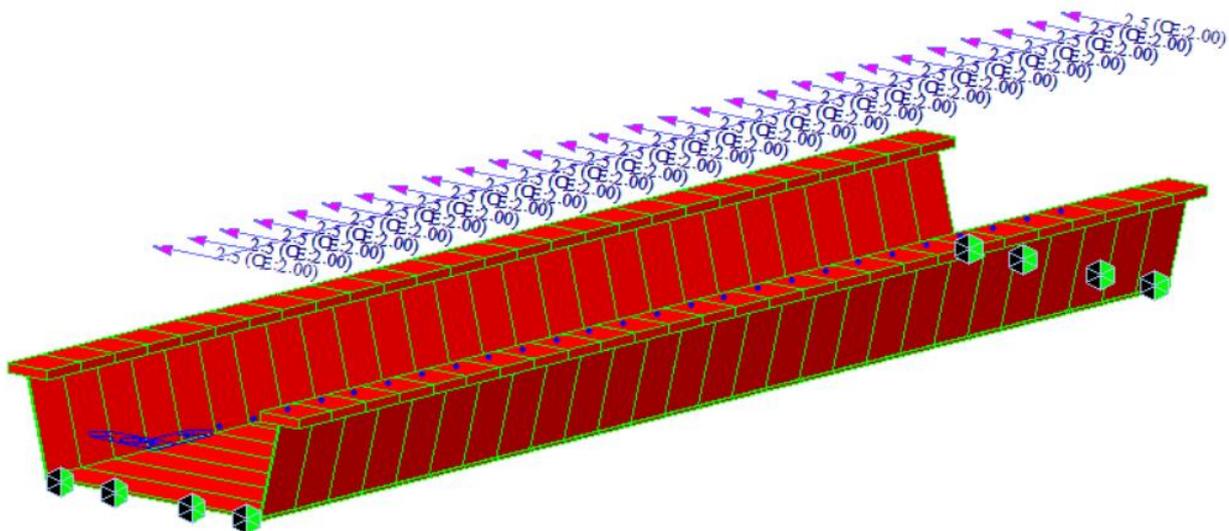


Figura 8: Pressione del vento

6.9 AZIONI DELLA TEMPERATURA

E' stata considerata una variazione uniforme della temperatura rispetto alla temperatura media dal sito pari a $\pm 20^\circ\text{C}$. Tale azione che per il calcolo della ampiezza dei giunti e degli apparecchi di appoggio è stata amplificata del 50% portandola a $\pm 30^\circ\text{C}$

In aggiunta alla variazione termica uniforme, è stato considerato un gradiente di temperatura di 5°C fra estradosso ed intradosso impalcato con verso da determinare le sollecitazioni più gravose.

	LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA					
	Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA					
Relazione di predimensionamento opere ferroviarie	COMMESSA INOW	LOTTO 00	CODIFICA R 26 CL	DOCUMENTO VI 00 00 001	REV. A	FOGLIO 32 di 50

6.10 RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI

Le resistenze passive sono valutate pari al 3% del peso dell'impalcato

$$R_{tot} = 0.03 \cdot (216 + 92.78 \cdot 11.4) \text{ kN} = 0.03 \cdot (216 \cdot 1058) = 38.22 \text{ kN}$$

6.11 AZIONI SUI MARCIAPIEDI

I marciapiedi non sono aperti al pubblico e sono utilizzati solo dal personale autorizzato. I carichi accidentali sono schematizzati da un carico uniformemente ripartito del valore di 10 kN/m². Questo carico non deve considerarsi contemporaneo al transito dei convogli ferroviari e deve essere applicato sopra i marciapiedi in modo da dare luogo agli effetti locali più sfavorevoli. Per questo tipo di carico distribuito non deve applicarsi l'incremento dinamico.

6.12 AZIONI SISMICHE Q6

Nel presente paragrafo si riporta la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del D.M. 14 gennaio 2018.

L'azione sismica è descritta mediante spettri di risposta elastici e di progetto. In particolare nel D.M. 17 gennaio 2018, vengono presentati gli spettri di risposta in termini di accelerazioni orizzontali e verticali.

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale $V_N = 75$ anni (categoria 3).

Classi D'uso

Il Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 prevede quattro categorie di classi d'uso riportate nel seguito:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe III o in Classe IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di



LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale **QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA**

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0W	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	33 di 50

tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade”, e di tipo quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti o reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l’opera in oggetto si considera una Classe d’uso III.

Periodo di Riferimento dell’Azione Sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d’uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d’uso C_U è definito, al variare della classe d’uso, come mostrato nella tabella seguente:

CLASSE D’USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1	1.5	2

Pertanto per l’ opera in oggetto il periodo di riferimento è pari a $75 \times 1.5 = 112.5$ anni.

Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (**SLO**): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire

danni ed interruzioni d'uso significativi;

Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile all'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture o crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione invece conserva una parte della resistenza e della rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche.

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella tabella successiva.

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

In accordo alle specifiche di norma le azioni sismiche per il dimensionamento dell'opera sono quelle relative allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Le azioni sismiche relative allo stato limite di operatività

(SLO) e allo stato limite di danno (SLD) non sono state considerate perché poco significative in relazione alle combinazioni di natura statica.

Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($ST=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $VR = 112.5$ anni per due tratti scelti nel tracciato di progetto.

SL	T_R (anni)	a_g (g)	Tratto A1 (da Prog. 94+680 a Prog. 98+970)		Tratto A2 (da Prog. 98+970 a Prog. 105+384)	
			S (-)	a_{max} (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	68	0.064	1.5	0.096	1.2	0.077
SLD	113	0.083	1.5	0.124	1.2	0.099
SLV	1068	0.211	1.390	0.293	1.193	0.251
SLC	2193	0.268	1.302	0.349	1.135	0.304

	LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA					
	Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA					
Relazione di predimensionamento opere ferroviarie	COMMESSA IN0W	LOTTO 00	CODIFICA R 26 CL	DOCUMENTO VI 00 00 001	REV. A	FOGLIO 36 di 50

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni delle azioni sono state definite in accordo con quanto riportato al par. 2.5.3 del DM 17.1.2018:

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

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

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

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

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

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

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

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

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

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

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

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

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qj} e quelli dei coefficienti di combinazione Ψ_{ij} sono stati desunti dal par. 5.2.3.2.1 del DM 17.1.2018, relativo al capitolo sui 'Ponti ferroviari'. Di seguito si riportano le Tabelle di riferimento.

Per quanto riguarda il coefficiente di combinazione Ψ_{2j} relativo ai carichi dovuti al transito dei treni, questo si assume pari a 0,2 nelle combinazioni sismiche, conformemente a quanto prescritto nel par. 5.2.2.8 del DM 17.1.2018.

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ 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.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico γ_r della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Figura 9: Valori dei coefficienti parziali di sicurezza – Tabella 5.2.V del DM 17.1.2018

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	γ_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	γ_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	γ_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	γ_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

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

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

Figura 10: Valori dei coefficienti di combinazione – Tabella 5.2.VI del DM 17.1.2018

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	(1)	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,0 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	(2) ⁽³⁾	(2)	(2)
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

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

(2) Si usano gli stessi coefficienti Ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Figura 11: Ulteriori valori dei coefficienti di combinazione – Tabella 5.2.VII del DM 17.1.2018

Conformemente con quanto prescritto al par.5.2.3.1.3 del DM 17.1.2018, gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella Tabella 5.2.IV del DM 17.1.2018, riportata di seguito.

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

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

Figura 12: Valutazione dei carichi da traffico – Tabella 5.2.IV del DM 17.1.2018



LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0W	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	39 di 50

Le combinazioni di carico scaturenti e dimensionanti sono le seguenti.

No	Name	PP(ST)	PERM(ST)	AVV/FR(ST)	SRP_A(ST)	WND(ST)	TMP(ST)	SP_SISMA LONG(RS)	SP_SISMA TRASV(RS)	AP_SISMA LONG(RS)	AP_SISMA TRASV(RS)	TRENO(MV)	G1(CB)	G3(CB)
1	G1			0.5000	1.0000							1.0000		
2	G3			1.0000	0.5000							1.0000		
3	SLU G1	1.3500	1.5000			0.9000	0.9000						1.4500	
4	SLU G3	1.3500	1.5000			0.9000	0.9000							1.4500
5	SLE G1	1.0000	1.0000			0.6000	0.6000						1.0000	
6	SLE G3	1.0000	1.0000			0.6000	0.6000							1.0000
7	SP_SIS	1.0000	1.0000					1.0000						
8	SP_SIS	1.0000	1.0000						1.0000					
9	AP_SIS	1.0000	1.0000							1.0000				
10	AP_SIS	1.0000	1.0000								1.0000			
11	PERM	1.0000	1.0000											

Ulteriori combinazioni sono state poi definite in sede di verifiche locali o specifiche.

8 CRITERI DI MODELLAZIONE

L'impalcato è stato modellato mediante il Software di calcolo Midas Civil V7.6.1, programma dedicato alla modellazione e all'analisi di ponti.

E' stata condotta una modellazione unilaterale dell'impalcato per cogliere il comportamento di insieme sotto i carichi di esercizio ed una modellazione trasversale per dimensionare le membrature trasversali.

Sono stati applicati al modello unilaterale dell'impalcato tutte le azioni dimensionanti previste dalle norme. In particolare, la determinazione delle massime azioni sulle membrature è stata ottenuta mediante l'adozione dei carichi mobili di normativa considerati viaggianti sull'impalcato.

Il collegamento dell'impalcato alle spalle è stato modellato con link rigidi per localizzare le reazioni vincolari nella loro reale posizione.

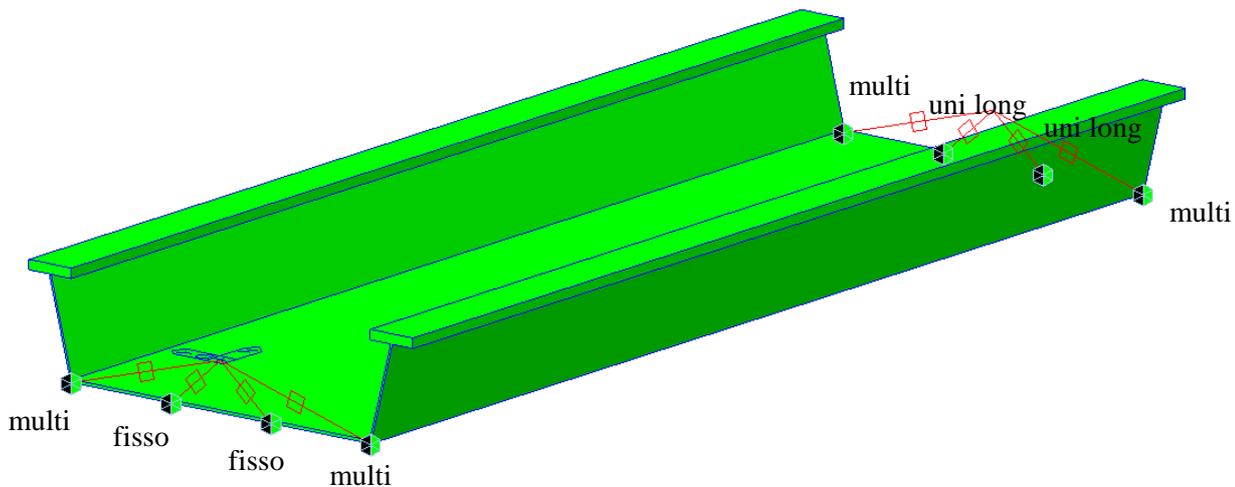
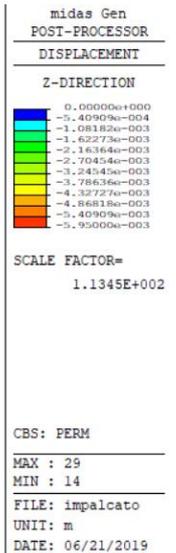
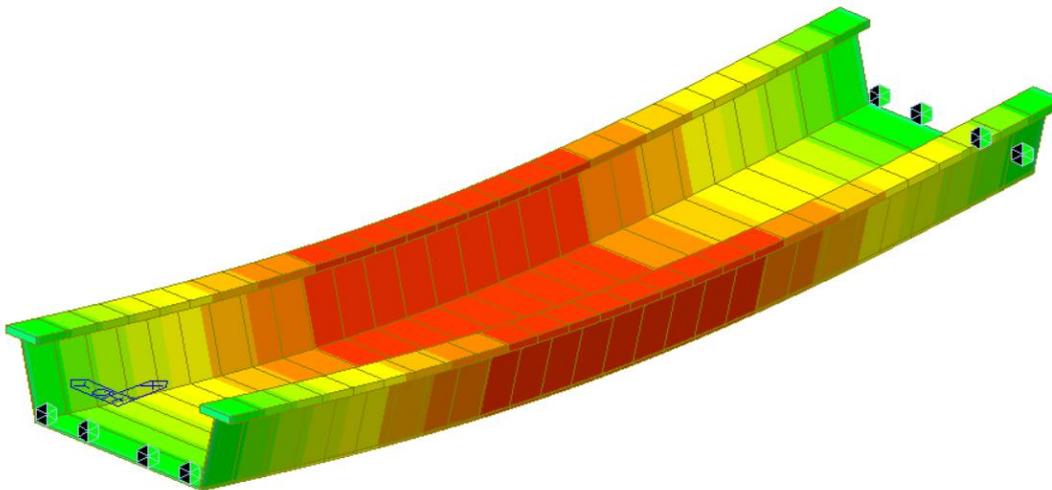


Figura 13: Modello di calcolo

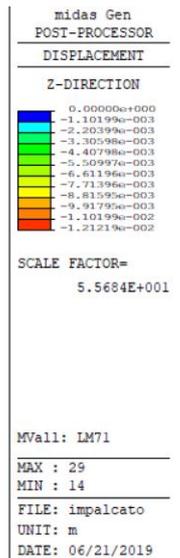
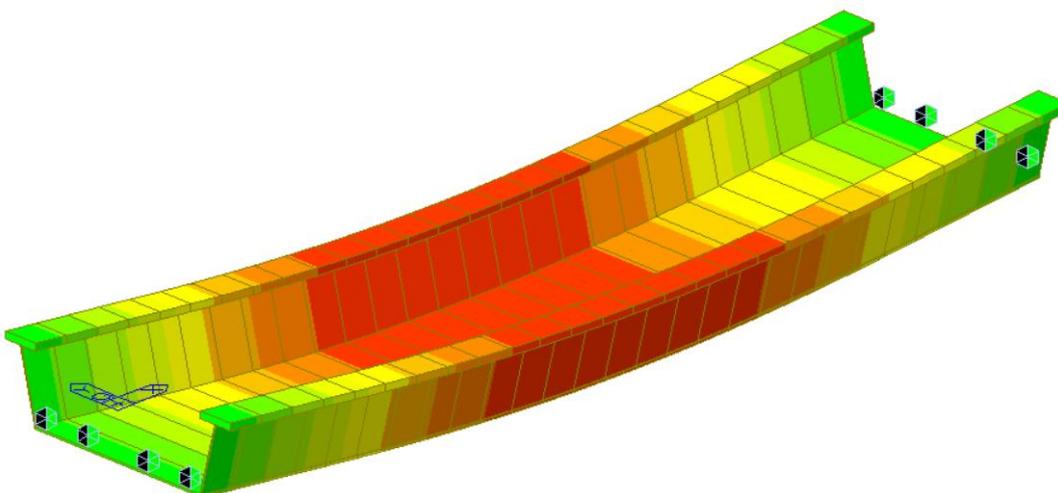
In particolare lo schema degli appoggi è riportato in Figura 13

9 Analisi dei risultati, sollecitazioni di calcolo

Deformata da peso proprio + permanenti portati



Deformata dovuta al carico mobile





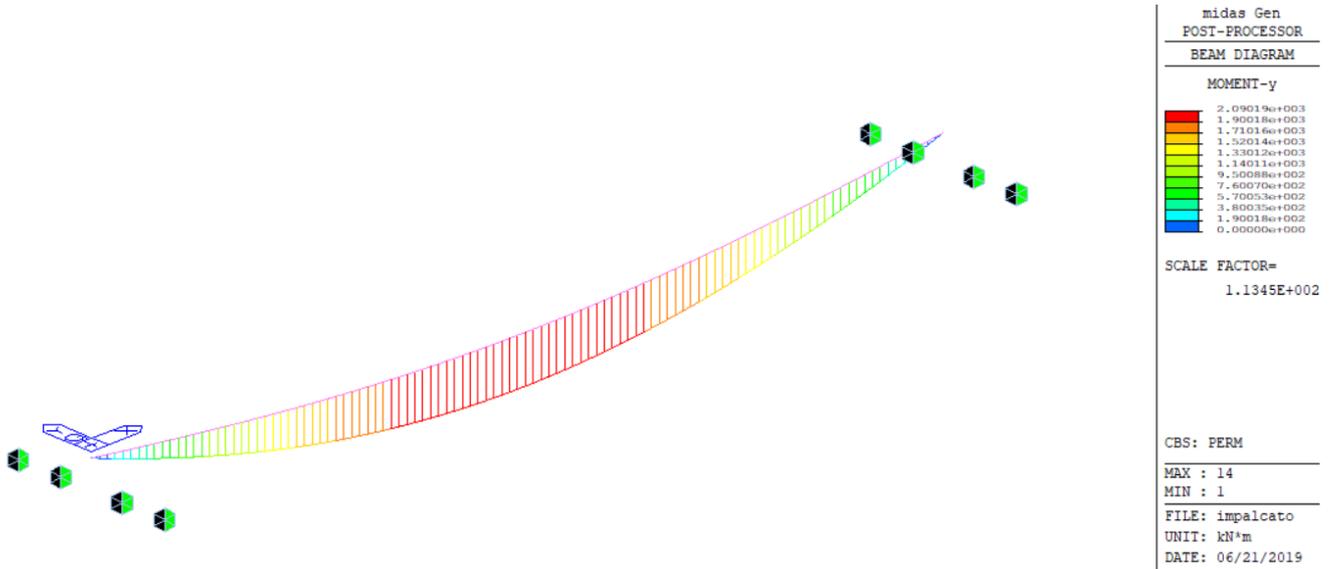
LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale **QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA**

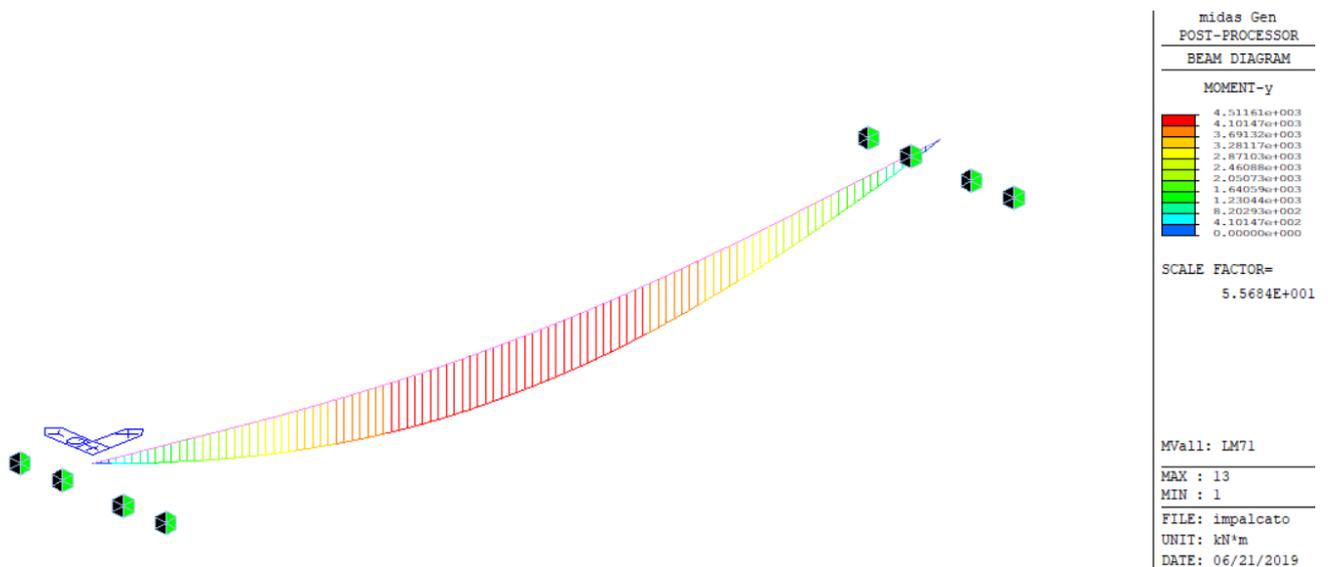
Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0W	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	42 di 50

Momenti da peso proprio + permanenti portati



Momenti da carico mobile



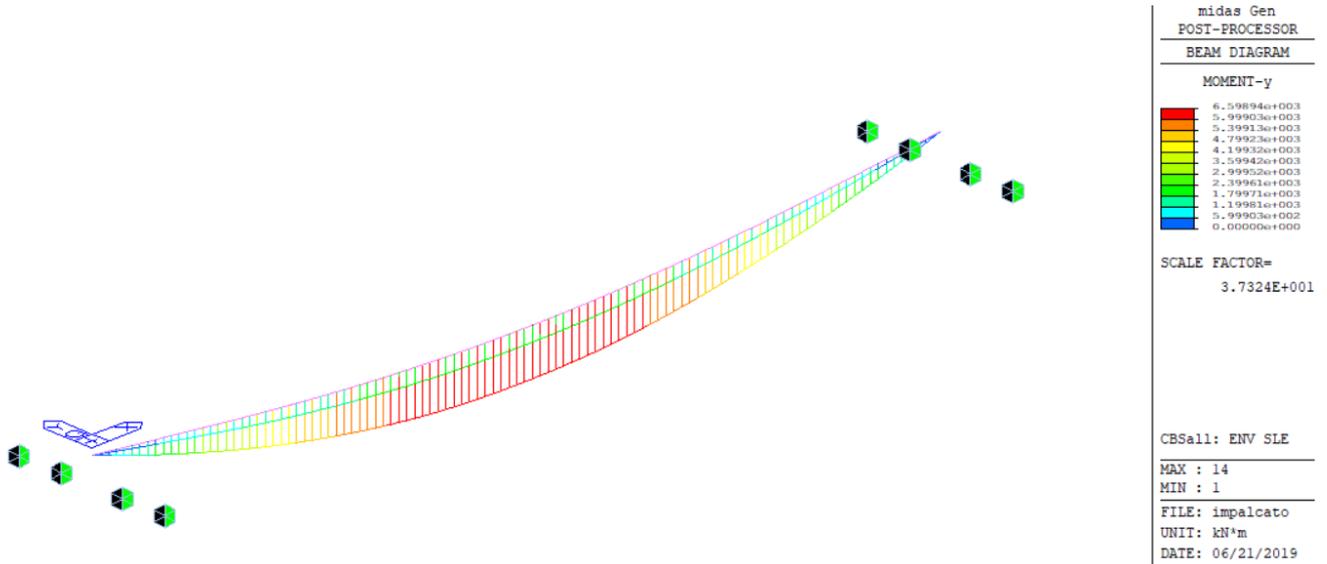


LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA
Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA

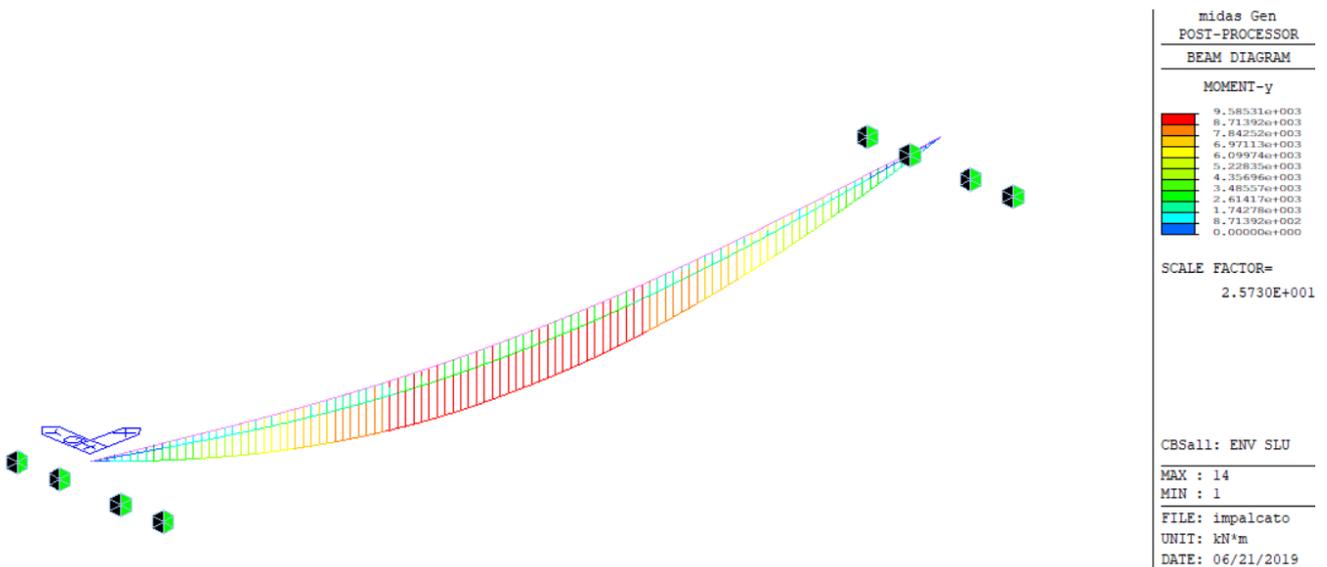
Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0W	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	43 di 50

Momenti massimi in condizioni di sle (SLE G1)



Momenti massimi in condizioni di slU (SLU G1)





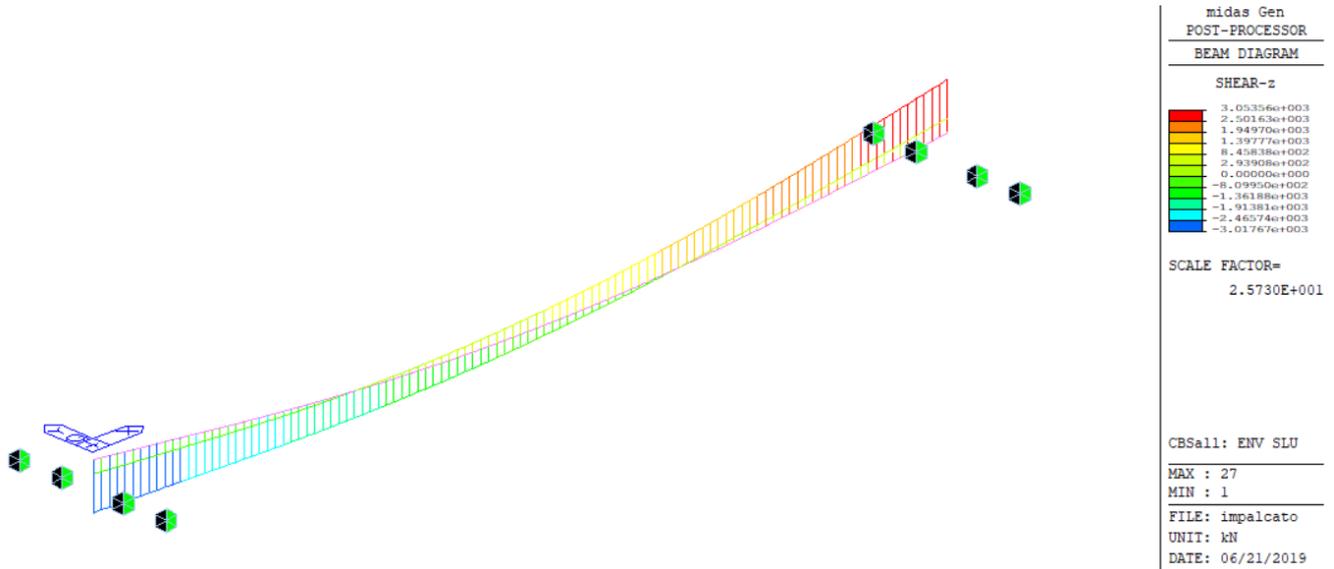
LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale **QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA**

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN0W	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	44 di 50

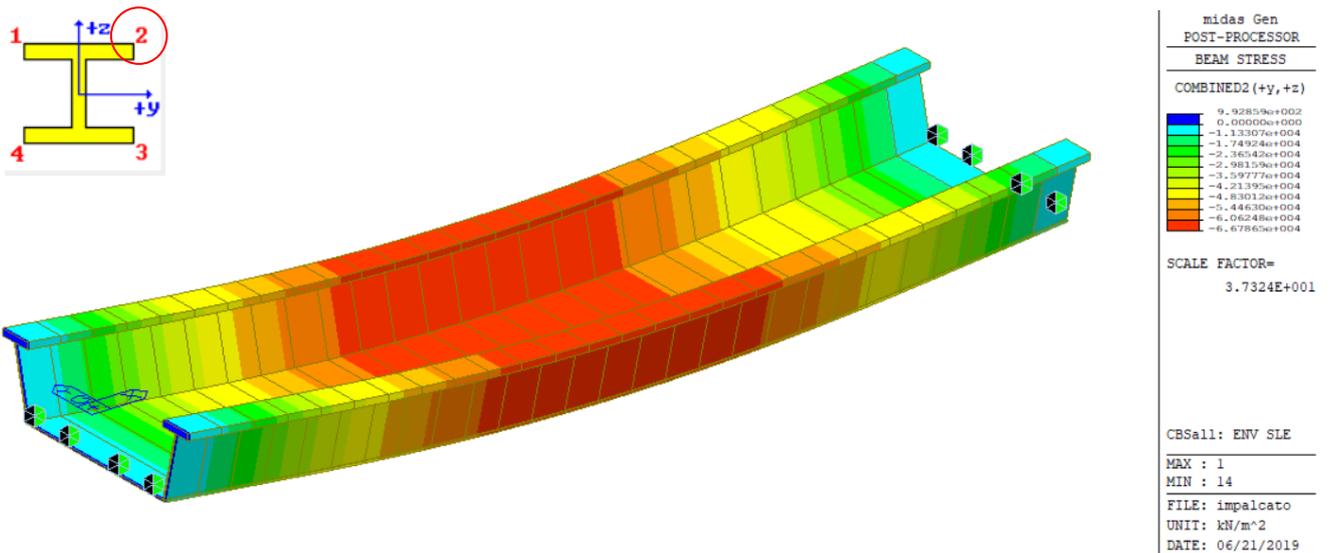
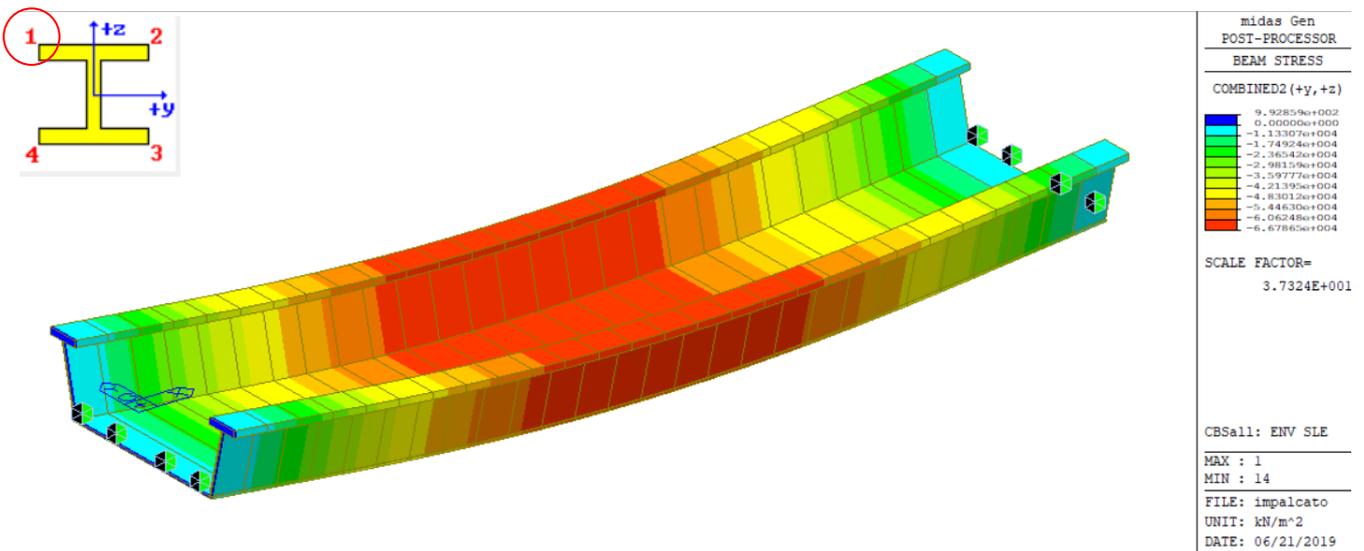
Tagli massimi in condizioni di slu (SLU G1)

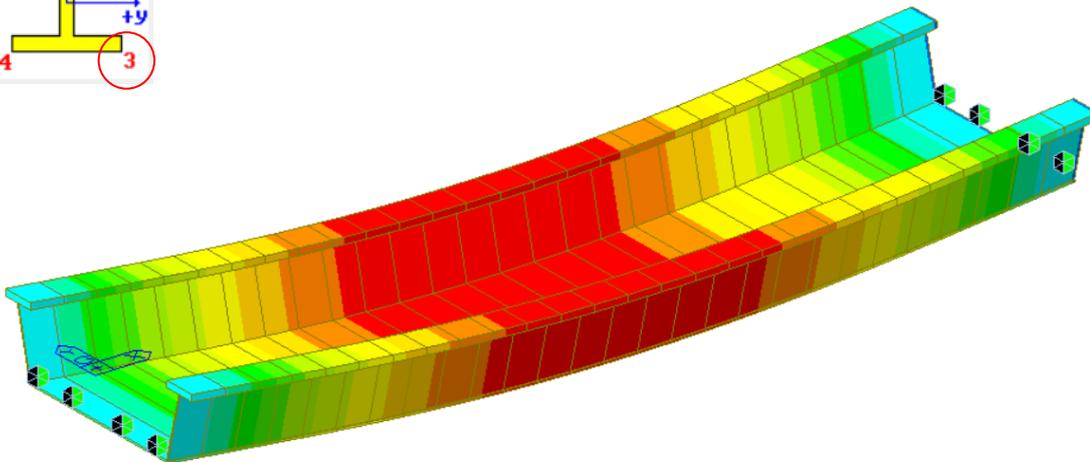
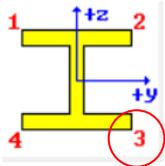


10 Verifiche strutturali

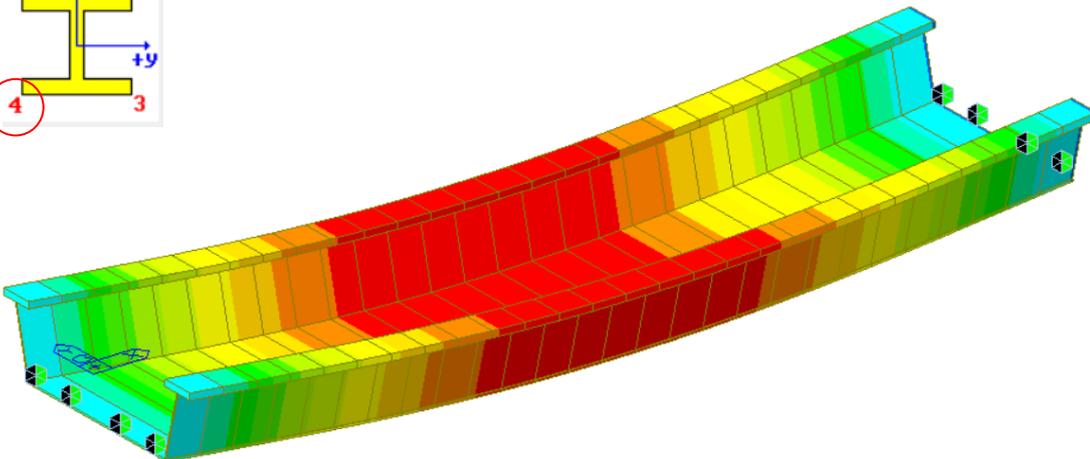
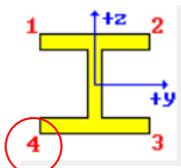
10.1 VERIFICA A FLESSIONE IN CAMPATA SLE (SLE G1)

Di seguito si allega lo stato tensionale per il punto considerato.





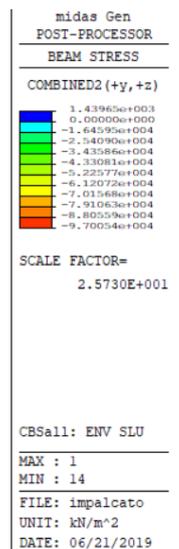
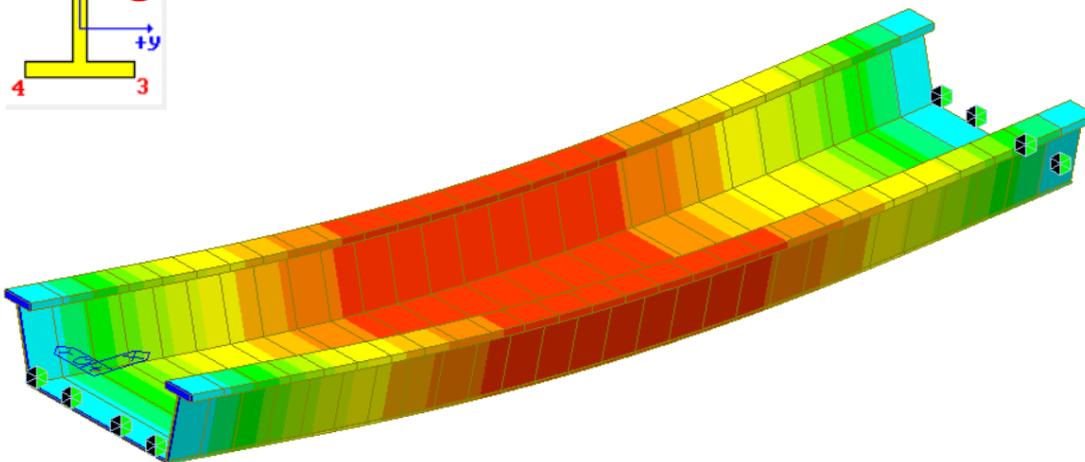
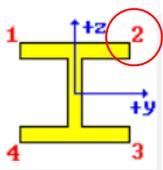
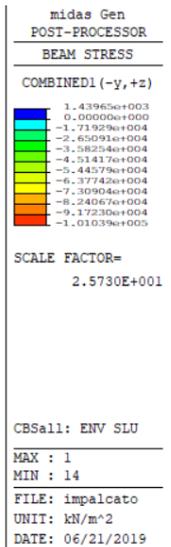
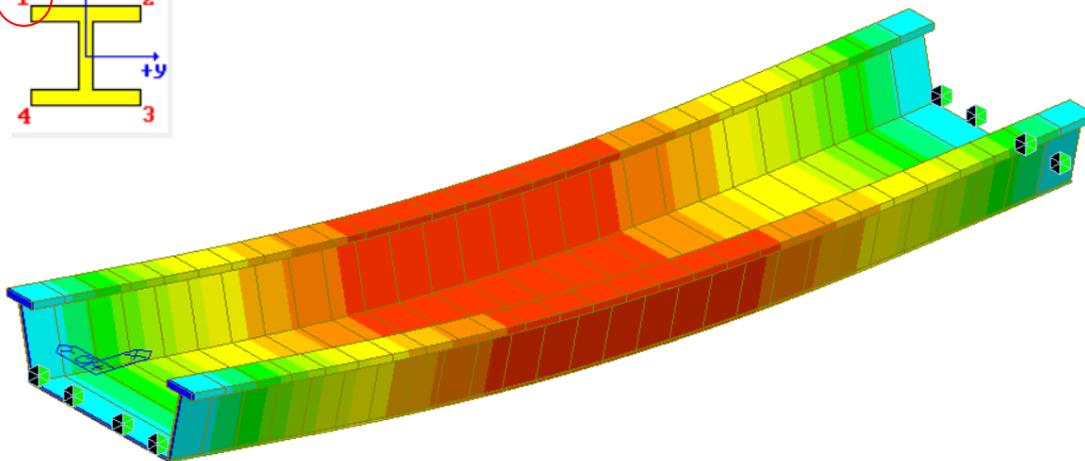
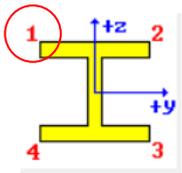
midas Gen	
POST-PROCESSOR	
BEAM STRESS	
COMBINED3 (+y, -z)	
7.30213e+004	
6.62927e+004	
5.95642e+004	
5.28356e+004	
4.61070e+004	
3.93785e+004	
3.26499e+004	
2.59214e+004	
1.91928e+004	
1.24643e+004	
0.00000e+000	
-9.92859e+002	
SCALE FACTOR=	
3.7324E+001	
CBSall: ENV SLE	
MAX : 14	
MIN : 27	
FILE: impalcato	
UNIT: kN/m^2	
DATE: 06/21/2019	

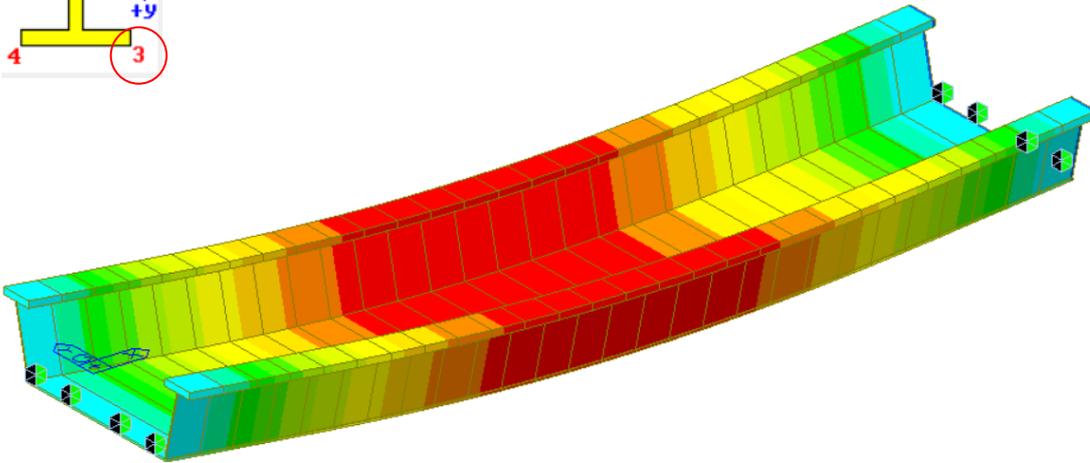
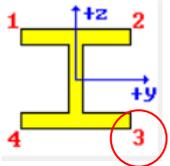


midas Gen	
POST-PROCESSOR	
BEAM STRESS	
COMBINED4 (-y, -z)	
7.09539e+004	
6.44133e+004	
5.78727e+004	
5.13320e+004	
4.47914e+004	
3.82508e+004	
3.17102e+004	
2.51696e+004	
1.86290e+004	
1.20884e+004	
0.00000e+000	
-9.92859e+002	
SCALE FACTOR=	
3.7324E+001	
CBSall: ENV SLE	
MAX : 14	
MIN : 27	
FILE: impalcato	
UNIT: kN/m^2	
DATE: 06/21/2019	

10.2 VERIFICA A FLESSIONE IN CAMPATA SLU (SLU G1)

Di seguito si allega lo stato tensionale per il punto considerato.





midas Gen
POST-PROCESSOR
BEAM STRESS

COMBINED3 (+y, -z)

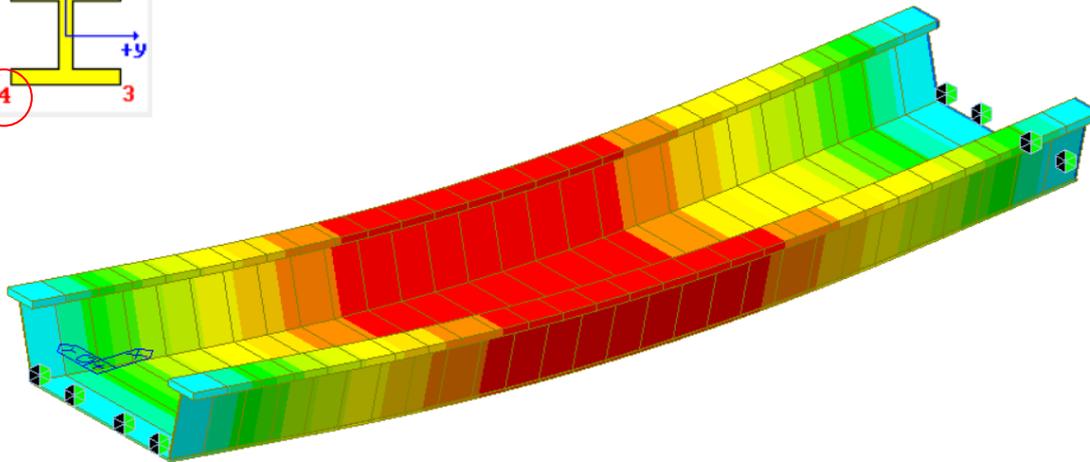
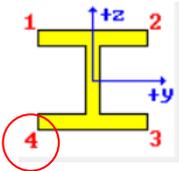
1.06063e+005
9.62915e+004
8.65184e+004
7.67453e+004
6.69722e+004
5.71991e+004
4.74259e+004
3.76528e+004
2.78797e+004
1.81066e+004
0.00000e+000
-1.43965e+003

SCALE FACTOR=
2.5730E+001

CBSall: ENV SLU

MAX : 14
MIN : 27

FILE: impalcato
UNIT: kN/m²
DATE: 06/21/2019



midas Gen
POST-PROCESSOR
BEAM STRESS

COMBINED4 (-y, -z)

1.03060e+005
9.35631e+004
8.40602e+004
7.45602e+004
6.50602e+004
5.55602e+004
4.60602e+004
3.65603e+004
2.70603e+004
1.75603e+004
0.00000e+000
-1.43965e+003

SCALE FACTOR=
2.5730E+001

CBSall: ENV SLU

MAX : 14
MIN : 27

FILE: impalcato
UNIT: kN/m²
DATE: 06/21/2019

Di seguito si riporta la tabella con le tensioni combinate per flessione e taglio per lo stato limite di esercizio e ultimo.

Elem	Load	Part	Axial (kN/m ²)	Shear-y (kN/m ²)	Shear-z (kN/m ²)	Bend(+y) (kN/m ²)	Bend(-y) (kN/m ²)	Bend(+z) (kN/m ²)	Bend(-z) (kN/m ²)
14	ENV SLE(all)	I[14]	37	631	-12500	1780	-1780	-67700	71600
14	ENV SLE(all)	J[15]	-37	-631	13100	1780	-1780	-67700	71600
14	ENV SLU(all)	I[14]	53	916	-18700	2600	-2600	-98400	104000
14	ENV SLU(all)	J[15]	-53	-916	19600	2600	-2600	-98400	104000
Elem	Load	Part	Cb(min/max) (kN/m ²)	Cb1(-y+z) (kN/m ²)	Cb2(+y+z) (kN/m ²)	Cb3(+y-z) (kN/m ²)	Cb4(-y-z) (kN/m ²)		
14	ENV SLE(all)	I[14]	73000	-69500	-66700	73000	71000		
14	ENV SLE(all)	J[15]	73000	-69500	-66800	73000	70900		
14	ENV SLU(all)	I[14]	106000	-101000	-96900	106000	103000		
14	ENV SLU(all)	J[15]	106000	-101000	-97000	106000	103000		

La massima tensione agente pari a 106 Mpa risulta inferiore a quella limite pari a $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 319 \text{ MPa}$



LINEA AV/AC TORINO-VENEZIA Tratta MILANO-VERONA

Lotto funzionale QUADRUPPLICAMENTO EST IN USCITA DA BRESCIA

Relazione di predimensionamento opere ferroviarie

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
INOW	00	R 26 CL	VI 00 00 001	A	50 di 50

10.3 VERIFICA DI IMBOZZAMENTO DEL PANNELLO D'ANIMA

Non si rende necessaria la verifica all'imbozzamento del pannello d'anima in quanto la parete verticale in c.a. della vasca porta ballast sarà piolata alla lamiera verticale conferendole la necessaria rigidezza nei confronti di fenomeni di instabilità