

## S.G.C. E78 GROSSETO - FANO

Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa.  
Adeguamento a 2 corsie del tratto della Variante di Urbania

### PROGETTO DEFINITIVO

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Müller</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>(Mandante)</p> <p>cooprogetti cocoprogetti</p> <p>(Mandante)</p> <p><b>engeko</b></p> <p>(Mandante)</p> <p><b>AIM</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri ROMA N° 14035</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

### OPERE D'ARTE MAGGIORI

VIADOTTI E PONTI

PONTE VENTURELLO

Impalcato – Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00VI04STRRE01_B		
DPAN247	D	22	CODICE ELAB. T00VI04STRRE01	B	-
D					
C					
B	Rev. Ist.U.0039705 24/01/22 e Ist.U.0057794 01/02/22	Feb.'22	Sigmund	Muller	Guiducci
A	Emissione	Ottobre '21	Sigmund	Muller	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
1.1. DESCRIZIONE GENERALE .....	5
1.2. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	7
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>8</b>
<b>3. MATERIALI, UNITA' DI MISURA E RESISTENZE DI PROGETTO.....</b>	<b>11</b>
3.1. STRUTTURA METALLICA.....	11
3.2. BULLONI E SALDATURE .....	13
3.3. CLASSE DI ESECUZIONE DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO.....	14
3.3.1. Classe di conseguenze .....	14
3.3.2. Categoria di servizio e di produzione.....	14
3.3.3. Determinazione della classe di esecuzione .....	16
3.4. SOLETTA MISTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO .....	17
3.4.1. Connettori a piolo.....	17
3.4.2. Calcestruzzo .....	18
3.4.3. Acciaio per armature .....	21
3.4.4. Resistenze di calcolo.....	22
3.5. UNITA' DI MISURA .....	23
<b>4. ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>24</b>
4.1. CARICHI PERMANENTI ( $G_1$ E $G_2$ ).....	24
4.1.1. Carichi permanenti strutturali ( $G_1$ ).....	24
4.1.2. Carichi permanenti portati ( $G_2$ ).....	26
4.2. CARICHI VERTICALI DA TRAFFICO ( $Q_1$ ).....	27
4.2.1. Ripartizione longitudinale dei carichi .....	28
4.2.2. Massimo momento flettente in campata .....	29
4.2.3. Massimo momento flettente in pila – Massima reazione.....	30
4.2.4. Massimo taglio in campata.....	31
4.2.5. Ripartizione trasversale dei carichi mobili.....	32
4.3. AZIONE DEL RITIRO .....	35
4.3.1. Ritiro e viscosità: $\varepsilon_2$ e $\varepsilon_3$ .....	35
4.3.2. Deformazione da ritiro e coefficiente di viscosità .....	36
4.4. CEDIMENTI VINCOLARI: $\varepsilon_4$ .....	38
4.5. FRENATURA ( $Q_3$ ).....	38
4.6. AZIONE CENTRIFUGA ( $Q_4$ ) .....	39

PROGETTAZIONE ATI:

4.7.	AZIONE DEL VENTO ( $Q_5$ ).....	39
4.7.1.	<i>Vento sull'impalcato</i> .....	40
4.8.	AZIONE TERMICA ( $Q_7$ ).....	43
4.8.1.	<i>Variazione termica differenziale</i> .....	43
4.8.2.	<i>Variazione termica uniforme</i> .....	45
4.9.	URTO DI VEICOLO IN SVIO ( $Q_8$ ).....	46
4.10.	AZIONE SISMICA (E).....	47
<b>5.</b>	<b><u>CRITERI DI CALCOLO</u></b> .....	<b>50</b>
5.1.	CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA PER LE AZIONI STATICHE .....	50
5.2.	ANALISI GLOBALE ELASTICA.....	51
5.2.1.	<i>Fasi di calcolo</i> .....	52
5.3.	COMBINAZIONI DELLE AZIONI .....	54
5.3.1.	<i>Azioni nelle verifiche agli stati limite</i> .....	56
5.3.2.	<i>Stati limite ultimi</i> .....	56
5.3.3.	<i>Stati limite di esercizio</i> .....	57
<b>6.</b>	<b><u>MODELLI DI CALCOLO ADOTTATI</u></b> .....	<b>58</b>
6.1.	DISCRETIZZAZIONE DELLA STRUTTURA .....	59
6.1.1.	<i>Nodi</i> .....	59
6.1.2.	<i>Elementi</i> .....	60
6.2.	MODELLO DI CALCOLO AGLI ELEMENTI FINITI .....	63
6.2.1.	<i>Modello completo</i> .....	63
6.2.2.	<i>Nodi</i> .....	64
6.2.3.	<i>Elementi travi, diaframmi e elementi soletta</i> .....	65
6.2.4.	<i>Carichi applicati al modello</i> .....	66
6.3.	CARATTERISTICHE STATICHE DELLE SEZIONI .....	69
6.3.1.	<i>Larghezze collaboranti</i> .....	69
6.3.2.	<i>Assegnazione delle sezioni agli elementi di analisi</i> .....	73
6.3.3.	<i>Caratteristiche statiche delle travi principali</i> .....	74
6.3.4.	<i>Inerzie dei diaframmi</i> .....	83
6.3.5.	<i>Elementi soletta</i> .....	83
6.4.	ANALISI GLOBALE E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI .....	84
6.5.	MASSIME AZIONI INTERNE .....	84
6.5.1.	<i>Sollecitazioni di verifica</i> .....	84
6.5.2.	<i>Diagrammi delle massime e minime sollecitazioni di verifica</i> .....	86
6.6.	ANALISI SISMICA.....	87

PROGETTAZIONE ATI:

6.6.1.	ANALISI MODALE .....	90
6.6.2.	Reazioni degli appoggi allo SLC - SLV.....	93
6.6.3.	Spostamenti allo SLC - SLU.....	95
6.6.4.	Corsa massima giunti di dilatazione .....	97
<b>7.</b>	<b><u>VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....</u></b>	<b>98</b>
7.1.	DISTRIBUZIONE DELLE SEZIONI STRUTTURALI .....	98
7.2.	TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLU .....	100
7.2.1.	Verifica delle sezioni .....	102
7.3.	TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLE .....	152
7.3.1.	Verifica S.L.E. tensionale – riepilogo coefficienti di sfruttamento .....	153
7.3.2.	Verifica S.L.E. “Web breathing” tensionale – riepilogo coefficienti di sfruttamento.....	154
7.3.3.	Verifica dei pioli allo SLE – riepilogo coefficienti di sfruttamento.....	156
7.4.	VERIFICHE A FATICA .....	162
7.4.1.	Modello di carico .....	162
7.4.2.	Classi di dettaglio .....	164
7.4.3.	Verifiche a vita illimitata.....	166
7.5.	SALDATURA DI COMPOSIZIONE.....	172
7.6.	VERIFICA DEI PIOLI.....	174
7.7.	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ .....	176
<b>8.</b>	<b><u>DIAFRAMMI E CONTROVENTI.....</u></b>	<b>178</b>
8.1.	DIAFRAMMI.....	178
8.1.1.	Diaframmi di spalla.....	180
8.1.2.	Diaframmi di pila .....	189
8.1.3.	Diaframmi intermedi .....	194
8.2.	CONTROVENTI DI MONTAGGIO.....	201
8.2.1.	Valori massimi di verifica allo SLU.....	201
<b>9.</b>	<b><u>SOLETTA D’IMPALCATO.....</u></b>	<b>205</b>
9.1.	DESCRIZIONE E MODALITÀ DI CALCOLO DELLA SOLETTA.....	205
9.2.	FASE 1.....	206
9.2.1.	ANALISI DEI CARICHI.....	206
9.2.2.	MODELLO DI CALCOLO .....	207
9.2.3.	VERIFICA TRALICCIO PREDALLE FASE I-A.....	211
9.2.4.	VERIFICA TRALICCIO PREDALLE FASE I-B.....	214
9.3.	FASE II .....	217
9.3.1.	ANALISI DEI CARICHI.....	217

PROGETTAZIONE ATI:

9.3.2.	<i>Modello di calcolo</i> .....	218
9.4.	FASE III.....	220
9.4.1.	<i>Ripartizione trasversale dei carichi mobili su soletta</i> .....	220
9.4.2.	<i>Larghezze collaboranti</i> .....	223
9.4.3.	<i>Effetti dei carichi da traffico</i> .....	227
9.4.4.	<i>Momento minimo su trave esterna</i> .....	228
9.4.5.	<i>Momento minimo su trave interna</i> .....	229
9.4.6.	<i>Momento massimo in campata</i> .....	231
9.4.7.	<i>Taglio massimo su trave esterna</i> .....	233
9.4.8.	<i>Taglio massimo su trave interna</i> .....	234
9.5.	RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI.....	235
9.6.	COMBINAZIONI DI CARICO.....	236
9.7.	AZIONI DI VERIFICA.....	236
9.8.	VERIFICHE DELLA SOLETTA NELLE SEZIONI CORRENTI.....	237
9.8.1.	<i>VERIFICHE ALLO SLU</i> .....	237
9.8.2.	<i>VERIFICHE ALLO SLE</i> .....	241
<b>10.</b>	<b><u>APPARECCHI DI APPOGGIO</u></b> .....	<b>249</b>
10.1.	CONDIZIONI ELEMENTARI.....	249
10.1.1.	<i>SPALLA SP1 – SP2</i> .....	249
10.1.2.	<i>PILA P1 – P2</i> .....	251
10.2.	INVILUPPO.....	253
10.2.1.	<i>SPALLA SPA – SPB</i> .....	253
10.2.2.	<i>PILA P1 – P2</i> .....	254
<b>11.</b>	<b><u>VERIFICHE IN FASE DI VARO</u></b> .....	<b>255</b>
11.1.	VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI.....	256
<b>12.</b>	<b><u>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI</u></b> .....	<b>261</b>
12.1.	CONTROLLO DELLE REAZIONI.....	261
12.1.1.	<i>Fase 1</i> .....	261
12.1.2.	<i>Fase 2</i> .....	261
<b>13.</b>	<b><u>ALLEGATI</u></b> .....	<b>262</b>

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione illustra il calcolo del nuovo viadotto costituito da un impalcato a travata.

Il viadotto, con sistema costruttivo misto acciaio-calcestruzzo, presenta tre campate: due da 60 m e una da 90 m. Lo schema di vincolo prevede l'adozione di appoggi isolatori ad alto smorzamento (HDRB).

La sezione trasversale dell'impalcato presenta 2 travi principali e 1 trave di spina a doppio T in composizione saldata, disposte a interasse di 4 m, con altezza variabile da 2.75 m fino a 5.25 m. I diaframmi di spalla sono costituiti da profili ad anima piena composti saldati, mentre i diaframmi di pila e intermedi hanno struttura reticolare, disposti a interasse longitudinale variabili con un massimo pari a 8.00 m. Per l'assemblaggio delle travi si prevedono unioni saldate tra concetti d'officina, mentre per il collegamento di tutti gli elementi secondari (traversi e controventi) si prevedono unioni bullonate a taglio.

La stabilizzazione della porzione compressa della struttura metallica durante le fasi antecedenti alla realizzazione e solidarizzazione della soletta in c.a. è assicurata da un sistema di controventi realizzato mediante profili angolari singoli di sezione 2L120x12 e 2L140x13. La soletta presenta una larghezza di circa 12.0 m e spessore costante pari a 27 cm (6 cm di predalla e 21 cm di getto). La connessione soletta-travi è realizzata mediante pioli Nelson.

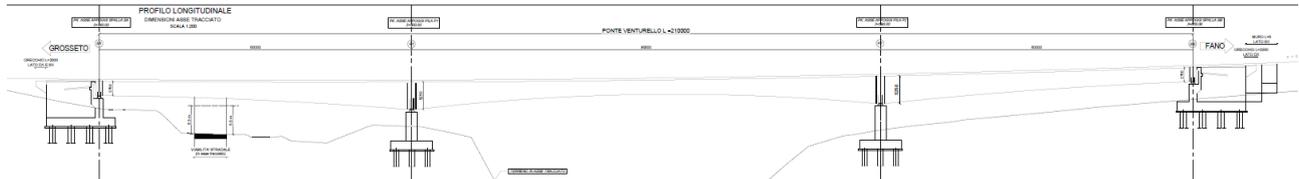


Figura 1.1 Profilo longitudinale

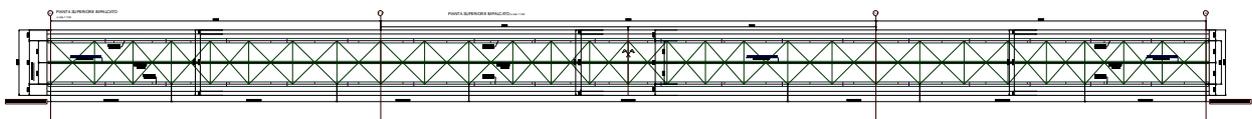


Figura 1.2. Pianta superiore impalcato

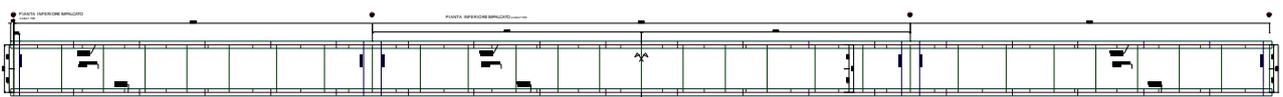


Figura 1.3 Pianta inferiore impalcato

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

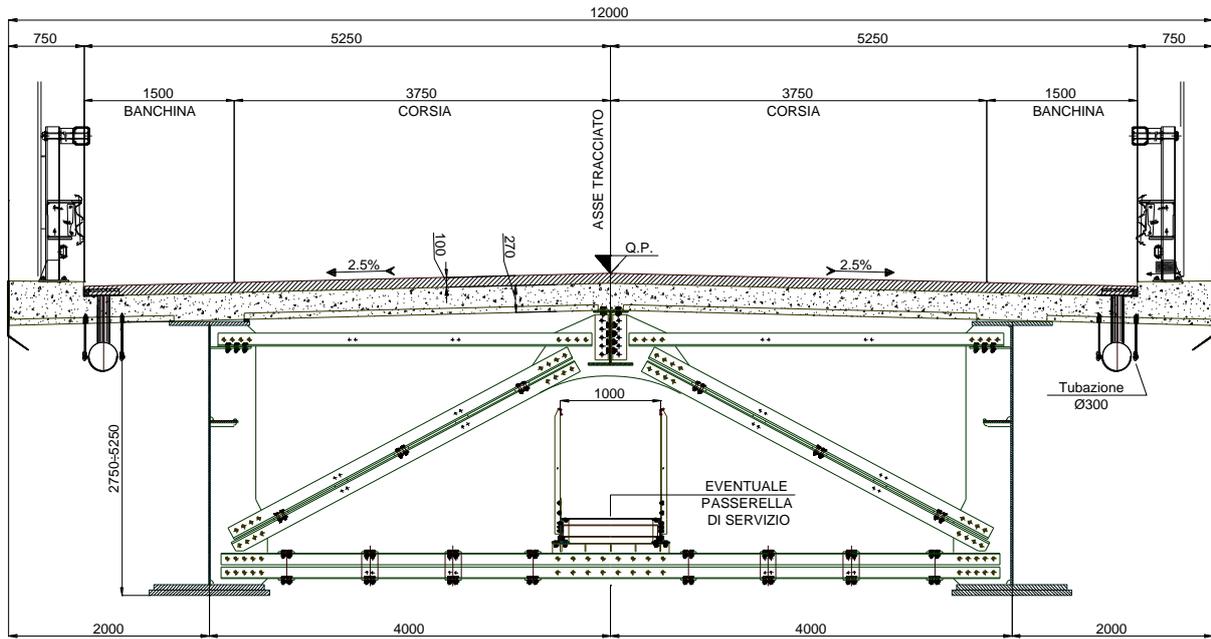


Figura 1.4 Sezione trasversale dell'impalcato

PROGETTAZIONE ATI:

## 1.2. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

La vita nominale di una struttura  $V_N$  è definita nel punto 2.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018 come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tabella 2.4.I del D.M. 17 gennaio 2018. Nel caso in esame, la costruzione è di tipo 2 ed è caratterizzata quindi dalla vita nominale  $V_N = 50$  anni.

Tipi di Costruzione		$V_N$ [anni]
1	Opere provvisorie - Opere Provvisionali - Strutture in fase costruttiva.	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.	$\geq 100$

Tabella 1.1 Vita nominale.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, il punto 2.4.2 del D.M. 17 gennaio 2018 prevede che le costruzioni siano suddivise tra 4 classi d'uso, definite nella seguente tabella.

Classe d'uso	
<b>Classe I</b>	Costruzioni con la presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
<b>Classe II</b>	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 d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<b>Classe III</b>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<b>Classe IV</b>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse a funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 1.2 Classi d'uso

La struttura in esame rientra nella Classe IV, quindi il suo coefficiente d'uso  $C_u$  è pari a 2.0.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nella redazione del progetto strutturale si fa riferimento al quadro normativo ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018. Il riferimento principale per la determinazione dei carichi agenti sulle strutture, le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali di impalcato sarà pertanto:

- **D.M. 17 gennaio 2018** - “*Norme tecniche per le costruzioni*” con la relativa circolare applicativa del 11 febbraio 2019 n. 617 - “Istruzione per l’applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni”.

Nei casi in cui le enunciate normative italiane si presentino carenti di informazioni in relazione a particolari studi specifici, si fa riferimento a normative europee e al sistema degli eurocodici, in particolare:

- **UNI EN 1990:2006 - EUROCODICE 0** - “*Criteri generali di progettazione strutturale*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-1:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-1** - “*Azioni sulle strutture - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-4:2005 - EUROCODICE 1 Parte 1-4** - “*Azioni in generale - Azioni del vento*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-5:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-5** - “*Azioni in generale - Azioni termiche*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-2:2005 - EUROCODICE 1 Parte 2** - “*Carichi da traffico sui ponti*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1992-1-1:2005 - EUROCODICE 2 Parte 1-1** - “*Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-1:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-1** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Regole generali e regole per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-5:2007 - EUROCODICE 3 Parte 1-5** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Elementi strutturali a lastra*” con il relativo NAD del 25.02.2011;
- **UNI EN 1993-1-8:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-8** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Progettazione dei collegamenti*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-9:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-9** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Fatica*” con il relativo NAD del 25.02.2011;
- **UNI EN 1993-1-10:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-10** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-2:2007 - EUROCODICE 3 Parte 2** - “*Progettazione delle strutture in acciaio Ponti di acciaio*” con il relativo NAD del 25.02.2011;
- **UNI EN 1994-1-1:2005 - EUROCODICE 4 parte 1-1** - “*Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1994-2:2006 - EUROCODICE 4 parte 2** - “*Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Regole generali e regole per i ponti*” con il relativo NAD del 24.09.2010;

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

- **UNI EN 1997-1:2005 - EUROCODICE 7 parte 1** - "Progettazione geotecnica - Regole generali" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1998-1:2005 - EUROCODICE 8 parte 1** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1998-2:2011 - EUROCODICE 8 parte 2** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Ponti" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1998-5:2005 - EUROCODICE 8 parte 5** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" con il relativo NAD del 25.02.2011.

Per gli apparecchi di appoggio si è fatto riferimento alla norma:

- **CNR 10018/85** - "Apparecchi d'appoggio in gomma e PTFE nelle costruzioni - Istruzioni per il calcolo e l'impiego".

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale calcestruzzo armato, si considerano:

- **UNI EN 206:2016** - "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità";
- **UNI 11104:2016** - "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206";
- **UNI EN 10080:2005** - "Acciaio saldabile per cemento armato - Generalità".

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale acciaio e dei sistemi di connessione, si considerano:

- **UNI EN 10025-1:2005** - "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura";
- **UNI EN 10025-5:2005** - "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica";
- **UNI EN ISO 4016:2011** - "Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Categoria C".
- **UNI EN ISO 4034:2013** - "Dadi esagonali normali (tipo 1) - Categoria C";
- **UNI EN 14399-1:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 1: Requisiti generali";
- **UNI EN 14399-3:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato Parte 3: Sistema HR - Assieme vite e dado esagonali";
- **UNI EN 14399-4:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 4: Sistema HV - Assieme vite e dado esagonali";
- **UNI EN 14399-5:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 5: Rondelle piane";
- **UNI EN 14399-6:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 6: Rondelle piane smussate";
- **UNI EN ISO 898-1:2013** - "Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine";

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

- **UNI EN ISO 898-2:2012** - "*Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate - Filettatura a passo grosso e filettatura a passo fine*";
- **UNI EN ISO 4063:2011** - "*Saldatura e tecniche affini - Nomenclatura e codificazione numerica dei processi*";
- **UNI EN ISO 13918:2009** - "*Saldatura - Prigionieri e ferrule ceramiche per la saldatura ad arco dei prigionieri*";
- **UNI EN ISO 14555:2014** - "*Saldatura - Saldatura ad arco dei prigionieri di materiali metallici*".

Per l'esecuzione delle strutture, si considerano le regole contenute nei seguenti documenti:

- **UNI EN 13670** - "Esecuzione di strutture di calcestruzzo";
- **UNI EN 1090-2:2018** - "Esecuzione di strutture di acciaio - Requisiti tecnici per strutture di acciaio";
- **UNI 11011:1962** - "Codice di pratica per la preparazione dei lembi nella saldatura per fusione di strutture in acciaio".

PROGETTAZIONE ATI:

### 3. MATERIALI, UNITA' DI MISURA E RESISTENZE DI PROGETTO

La struttura dell'impalcato è costituita da elementi di carpenteria metallica (profili saldati composti, piastre, angolari, bulloni e pioli) e dal calcestruzzo per il getto di completamento delle solette.

#### 3.1. STRUTTURA METALLICA

Per la determinazione delle caratteristiche dei materiali da utilizzare per la struttura metallica (piatti per profili saldati composti di travi longitudinali e trasversi, piatti per coprigiunti ed irrigidimenti, angolari), si fa riferimento ai paragrafi 11.3.4 del D.M. 2018, alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025-5 (per i laminati con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica) e alla sezione 3 dell'Eurocodice 3 EN 1993-1-1:2005.

Utili informazioni sulla determinazione dei massimi valori ammissibili dello spessore degli elementi e sulla scelta del grado di resilienza sono state ricavate dalla UNI EN 1993-1-10:2005 e dalla UNI EN 10164:2005.

L'acciaio impiegato per l'impalcato è di tipo S355W (ex Fe510 Corten), suddiviso nei gradi J0, J2 e K2 a seconda dello spessore della lamiera.

Le varie tipologie presentano caratteristiche meccaniche differenziate a seconda che lo spessore sia inferiore o superiore ai 40 mm, come indicato dal D.M. 17 gennaio 2018 al paragrafo 4.2.1.1 e riportato nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
<b>Tipo di acciaio</b>	<b>S 355 J0W, S 355 J2W, S 355 K2W</b>		
<b>Carico unitario di rottura a trazione</b>	$f_{tk}$	510 [N/mm <sup>2</sup> ] per $t \leq 40$ [mm] 490 [N/mm <sup>2</sup> ] per $t > 40$ [mm]	[Tab. 11.3.IX]
<b>Carico unitario di snervamento</b>	$f_{yk}$	355 [N/mm <sup>2</sup> ] per $t \leq 40$ [mm] 335 [N/mm <sup>2</sup> ] per $t > 40$ [mm]	[Tab. 11.3.IX]
<b>Modulo di elasticità</b>	$E$	210000 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.3.4.1]
<b>Coefficiente di Poisson</b>	$\nu$	0.3	[11.3.4.1]
<b>Coefficiente di dilatazione termica</b>	$\alpha_c$	0.000012 [°C <sup>-1</sup> ]	[11.3.4.1]
<b>Massa volumica</b>	$\rho_c$	7850 [kg/m <sup>3</sup> ]	[11.3.4.1]

**Tabella 3.1 proprietà caratteristiche dell'acciaio secondo D. M. 2018 (paragrafo 11.3.4.1) per profili a sezione aperta laminati a caldo (UNI EN 10025-5), al variare dello spessore.**

Al fine di scongiurare il fenomeno dello strappo lamellare all'atto della saldatura, il costruttore dovrà verificare, in funzione delle tecniche e degli accorgimenti di saldatura utilizzati, se sia necessario l'impiego di lamiere qualificate secondo la UNI EN 10164:2005. Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio non dipendono tuttavia dalla classe qualitativa, pertanto rimangono valide le caratteristiche riportate nella precedente tabella.

La resistenza di calcolo si pone nella forma (D. M. 17 gennaio 2018 punto 4.2.4.1.1):

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

in cui:

$R_k$	è il valore caratteristico della resistenza (a trazione, compressione, flessione, taglio e torsione) della membratura, determinata dai valori caratteristici dei materiali e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dipendenti della classe della sezione;
$\gamma_M$	è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato: <ul style="list-style-type: none"><li>- <math>\gamma_{M0} = 1.05</math> per la resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4;</li><li>- <math>\gamma_{M1} = 1.10</math> per la resistenza all'instabilità delle membrature;</li><li>- <math>\gamma_{M2} = 1.25</math> per la resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori).</li></ul>

PROGETTAZIONE ATI:

### 3.2. BULLONI E SALDATURE

Per i bulloni utilizzati nelle giunzioni a taglio (conformi alle UNI EN ISO 4016:2011, UNI 4034:2013 e UNI EN ISO 898-1:2001) e a attrito (conformi alle UNI EN 14399-3:2005 e 14399-4:2005) vengono sempre impiegati bulloni ad alta resistenza, con le seguenti resistenze di progetto:

Classe	$f_{tb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
10.9	1000	900

Tabella 3.2 resistenze di progetto dei bulloni utilizzati (tabella 11.3.XII.b del D. M. 2018).

Le rosette per le giunzioni ad attrito devono essere conformi alle caratteristiche dimensionali previste dalle norme UNI EN 14399-5:2005 e UNI EN 14399-6:2005 e realizzate in acciaio C50 secondo le UNI EN 10083-2:2006 temperato e rinvenuto HRC 32-40.

I bulloni disposti con asse verticale devono avere, se possibile, la testa della vite verso l'alto e il dado verso il basso. Devono essere previste una rosetta sotto la vite e una sotto il dado (UNI EN 14399-5,6:2005).

Per la verifica dei bulloni e delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo, si utilizzano i coefficienti di sicurezza indicati nella tabella 4.2.XIV del D.M. 2018, ovvero  $\gamma_{M2} = 1.25$

Per la verifica delle saldature a piena penetrazione, in conformità con quanto indicato nel paragrafo 4.2.8.2.1 del D.M. 2018 e in considerazione del fatto che generalmente vengono realizzati con materiali d'apporto aventi resistenza uguale o maggiore a quella degli elementi collegati, si assume che la resistenza di calcolo dei collegamenti sia pari alla resistenza di progetto del più debole degli elementi connessi.

### 3.3. CLASSE DI ESECUZIONE DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO

Per le strutture in acciaio e miste acciaio-calcestruzzo, le UNI EN 1090-2 introducono, al punto 4.1.2, la classe di esecuzione. Vengono fornite quattro classi di esecuzione da 1 a 4, identificate da EXC1 a EXC4, per le quali il requisito restrittivo cresce da EXC1 a EXC4. L'Appendice B della UNI EN 1090-2 fornisce una guida per la scelta della corretta classe di esecuzione.

#### 3.3.1. CLASSE DI CONSEGUENZE

Il primo passo per la scelta della classe di esecuzione è la determinazione della classe di conseguenze, il cui riferimento è l'Appendice B (informativa) della UNI EN 1990, che individua 3 livelli ai fini della differenziazione dell'affidabilità.

Classe d'uso	Descrizione	Esempi di edifici ed opere civili
<b>CC3 (ALTA)</b>	Elevate conseguenze per perdita di vite umane, conseguenze <b>molto gravi</b> in termini economici, sociali o ambientali	Gradinate in impianti sportivi, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono alte (es.: sala da concerti)
<b>CC2 (STANDARD)</b>	Conseguenze <b>medie</b> per perdita di vite umane, conseguenze <b>considerevoli</b> in termini economici, sociali o ambientali	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono medie (es.: edificio per uffici)
<b>CC1 (BASSA)</b>	Conseguenze <b>basse</b> per perdita di vite umane, conseguenze <b>modeste o trascurabili</b> in termini economici, sociali o ambientali	Costruzioni agricole, nelle quali generalmente nessuno entra (es.: magazzini), serre

Tabella 3.3 classe di conseguenza per diversi tipi di opere (prospetto B.1 dell'UNI EN 1990).

Per il caso in esame si individua la classe di conseguenze standard CC2.

#### 3.3.2. CATEGORIA DI SERVIZIO E DI PRODUZIONE

Durante le fasi di esecuzione e di esercizio della struttura, possono insorgere rischi dovuti alla complessità dell'esecuzione dei lavori ed all'incertezza delle azioni gravanti sulla struttura, che possono evidenziare difetti nella struttura durante il suo utilizzo.

Per tenere in conto di queste tipologie di rischio, sono state introdotte le categorie di servizio e le categorie di produzione.

<i>Categoria di servizio</i>	<i>Criterio</i>
<b>SC1</b>	- Strutture e componenti progettate solo per azioni quasi statiche (esempio: Edifici); - Strutture e componenti con connessioni progettate per bassa duttilità in zone a bassa sismicità; - Strutture e componenti progettate per la fatica degli apparecchi di sollevamento (classe S0).
<b>SC2</b>	- <b>Strutture e componenti progettate per le azioni fatica secondo la EN 1993 (esempi: Ponti stradali e ferroviari, gru (classe da S1 a S9), strutture suscettibili alle vibrazioni indotte da vento, dalla folla o dalla rotazione di macchine);</b> - Strutture e componenti con connessioni progettate per media (CD"B") o alta (CD"A") duttilità in zona a media o alta sismicità.

Tabella 3.4 criteri suggeriti per la determinazione della categoria di servizio (prospetto B.1 dell'UNI EN 1090-2).

<i>Categoria di produzione</i>	<i>Criterio</i>
<b>PC1</b>	- Componenti non saldati realizzati con qualsiasi tipo di acciaio; - Componenti saldati realizzati con acciai di qualità inferiore a S355;
<b>PC2</b>	- <b>Componenti saldati realizzati con acciai di qualità uguale o superiore a S355;</b> - Componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati mediante saldatura in cantiere; - Componenti formati a caldo o che ricevono un trattamento termico durante la fabbricazione; - Strutture tralicciate realizzate con profili tubolari circolari.

Tabella 3.5 criteri suggeriti per la determinazione della categoria di produzione (prospetto B.2 dell'UNI EN 1090-2).

Si osserva che l'impalcato in esame appartiene alla categoria di servizio SC2 ed alla categoria di produzione PC2.

### 3.3.3. DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI ESECUZIONE

La classe di esecuzione delle strutture viene determinata combinando la classe di conseguenze e le categorie di servizio e produzione secondo il seguente schema fornito al punto B.3 delle UNI EN 1090-2.

Classe di Conseguenze		CC1		CC2		CC3	
Categoria di servizio		SC1	SC2	SC1	<b>SC2</b>	SC1	SC2
Categoria di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	<b>PC2</b>	EXC2	EXC2	EXC2	<b>EXC3</b>	EXC3	EXC4

Tabella 3.6 matrice raccomandata per la determinazione delle classi di esecuzione (prospetto B.3 dell'UNI EN 1090-2).

Come si può rilevare, la classe di esecuzione raccomandata per l'impalcato in esame è la EXC3.

L'elenco dei requisiti relativi alle classi di esecuzione è fornito nel punto A.3 della. Si UNI EN 1090-2, al quale si rimanda per i dettagli.

Si evidenzia che per la EXC3 è richiesta la completa tracciabilità e la marcatura dei prodotti.

### 3.4. SOLETTA MISTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO

I materiali costituenti la soletta mista sono il calcestruzzo utilizzato per le lastre predalles e per il getto e le barre di armatura superiore e inferiore della soletta. Vi sono inoltre i connettori a piolo tipo Nelson per il collegamento con la struttura in carpenteria metallica.

#### 3.4.1. CONNETTORI A PIOLO

Per i connettori a piolo, il paragrafo 11.3.4.7 del D.M. 2018 prevede che l'acciaio utilizzato per essi sia idoneo al processo di formazione dello stesso piolo e compatibile per saldatura con il materiale costituente l'elemento strutturale interessato dai pioli stessi.

Nel caso in esame, si utilizzano pioli di tipo Nelson, per i quali la ditta produttrice prevede l'utilizzo di acciaio S 235J2G3+C450, secondo la UNI EN ISO 13918:2009.

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio non dipendono dalla classe qualitativa; pertanto, in conformità con il paragrafo 11.3.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018, si hanno le seguenti caratteristiche meccaniche:

<i>Proprietà</i>	<i>Simbolo e formula di calcolo</i>	<i>Valore numerico e unità di misura</i>	<i>Riferimento D. M. 2018</i>
<b>Tipo di acciaio</b>	<b>S 235 J2G3 + C450</b>		
<b>Carico unitario di rottura a trazione</b>	$f_{tk}$	450 [N/mm <sup>2</sup> ]	-
<b>Carico unitario di snervamento</b>	$f_{yk}$	350 [N/mm <sup>2</sup> ]	-
<b>Modulo di elasticità</b>	$E$	210000 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.3.4.1]
<b>Coefficiente di Poisson</b>	$\nu$	0.3	[11.3.4.1]
<b>Coefficiente di dilatazione termica</b>	$\alpha_c$	0.000012 [°C <sup>-1</sup> ]	[11.3.4.1]
<b>Massa volumica</b>	$\rho_c$	7850 [kg/m <sup>3</sup> ]	[11.3.4.1]

Tabella 3.7 proprietà caratteristiche dell'acciaio secondo D. M. 2018 (paragrafo 11.3.4.1) per i pioli di tipo Nelson, secondo quanto richiesto dal produttore (riferimento UNI EN 10025).

Il paragrafo 11.3.4.7 del D.M. 2018 prevede il rispetto di alcuni requisiti addizionali, riportati nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di acciaio	S 235 J2G3 + C450		
Rapporto tra rottura e snervamento caratteristici	$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.20	[11.3.4.7]
Allungamento a rottura	$L_0$	≥ 12%	[11.3.4.7]

Tabella 3.8 requisiti aggiuntivi per l'acciaio utilizzato per i connettori a piolo secondo D. M. 2018 (paragrafo 11.3.4.7).

Nelle verifiche relative alle connessioni, il paragrafo 4.3.3 del D.M. 2018 prevede che venga utilizzato un coefficiente parziale di sicurezza pari a  $\gamma_V = 1.25$ .

### 3.4.2. CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo impiegato per il getto della soletta e per le dalle è caratterizzato dalla classe di resistenza C32/40, dalla classe di esposizione ambientale XC4 e dalla classe di consistenza S4.

Nella seguente tabella sono riassunte le proprietà di confezionamento del calcestruzzo previsto, con indicata la norma che prevede, per il tipo impiegato, il valore più restrittivo delle varie proprietà.

Proprietà	Valore	Norma di Riferimento	Riferimento
Tipo di calcestruzzo	C32/40	UNI 11104:2016	[Prospetto 8]
Vita nominale $V_N$	≥ 50 [anni]	D.M. 17.01.2018	[Tab. 2.4.I]
Classe di esposizione ambientale	XC 4	UNI 11104:2016	[Prospetto 1]
Rapporto Acqua/Cemento max	0.50	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
Classe minima di consistenza del getto	S4	UNI EN 206-1:2016	[Prospetto 3]
Contenuto minimo di cemento	360 [kg/m³] (di classe 42.5R per getti eseguiti con T < 10 °C)	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
Copriferro nominale	40 [mm]	Circolare 7/2018	[Tab. C4.1.IV]

Tabella 3.9 proprietà di confezionamento del calcestruzzo C32/40 utilizzato per la soletta dell'impalcato.

Per il calcestruzzo di classe C32/40 adottato, il D. M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 11.2.10, prevede le proprietà meccaniche riportate nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
<b>Tipo di calcestruzzo</b>	<b>C32/40</b>		
<b>Resistenza cilindrica media a compressione</b>	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41.2 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.1]
<b>Resistenza media a trazione semplice</b>	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	3.10 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.2]
<b>Resistenza a trazione</b>	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	2.17 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.2]
<b>Modulo di elasticità istantaneo</b>	$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0.3}$	33643 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.3]
<b>Coefficiente di Poisson</b>	$\nu$	0 ÷ 0.2	[11.2.10.4]
<b>Coefficiente di dilatazione termica</b>	$\alpha_c$	0.00001 [°C <sup>-1</sup> ]	[11.2.10.5]
<b>Massa volumica</b>	$\rho_c$	2500 [kg/m <sup>3</sup> ]	-

Tabella 3.10 proprietà meccaniche caratteristiche del calcestruzzo C32/40, utilizzato per la soletta dell'impalcato, secondo D.M. 2018 (paragrafo 11.2.10)

Il calcestruzzo impiegato per il getto dei cordoli è caratterizzato dalla classe di resistenza C35/45, dalla classe di esposizione ambientale XC4+XD3 e dalla classe di consistenza S4.

Nella seguente tabella sono riassunte le proprietà di confezionamento del calcestruzzo previsto, con indicata la norma che prevede, per il tipo impiegato, il valore più restrittivo delle varie proprietà.

Proprietà	Valore	Norma di Riferimento	Riferimento
<b>Tipo di calcestruzzo</b>	<b>C35/45</b>	UNI 11104:2016	[Prospetto 8]
<b>Vita nominale <math>V_N</math></b>	≥ 50 [anni]	D.M. 17.01.2018	[Tab. 2.4.I]
<b>Classe di esposizione ambientale</b>	XC4+XD3	UNI 11104:2016	[Prospetto 1]
<b>Rapporto Acqua/Cemento max</b>	0.45	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
<b>Classe minima di consistenza del getto</b>	S4	UNI EN 206-1:2016	[Prospetto 3]
<b>Contenuto minimo di cemento</b>	360 [kg/m <sup>3</sup> ] (di classe 42.5R per getti eseguiti con T < 10 °C)	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
<b>Copriferro nominale</b>	50 [mm]	Circolare 7/2018	[Tab. C4.1.IV]

Tabella 3.11 proprietà di confezionamento del calcestruzzo C35/45 utilizzato per i cordoli.

Per il calcestruzzo di classe C35/45 adottato, il D. M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 11.2.10, prevede le proprietà meccaniche riportate nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
<b>Tipo di calcestruzzo</b>	<b>C35/45</b>		
<b>Resistenza cilindrica media a compressione</b>	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	45.4 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.1]
<b>Resistenza media a trazione semplice</b>	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	3.82 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.2]
<b>Resistenza a trazione</b>	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	2.67 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.2]
<b>Modulo di elasticità istantaneo</b>	$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0.3}$	34625 [N/mm <sup>2</sup> ]	[11.2.10.3]
<b>Coefficiente di Poisson</b>	$\nu$	0 ÷ 0.2	[11.2.10.4]
<b>Coefficiente di dilatazione termica</b>	$\alpha_c$	0.00001 [°C <sup>-1</sup> ]	[11.2.10.5]
<b>Massa volumica</b>	$\rho_c$	2500 [kg/m <sup>3</sup> ]	-

Tabella 3.12 proprietà meccaniche caratteristiche del calcestruzzo C35/45, utilizzato per i cordoli, secondo D.M. 2018 (paragrafo 11.2.10)

### 3.4.3. ACCIAIO PER ARMATURE

L'acciaio utilizzato per le armature è del tipo B450C, per il quale il D. M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 11.3.2.1, prevede le proprietà riportate nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
<b>Tipo di acciaio</b>	<b>B450C</b>		
<b>Tensione caratteristica di snervamento</b>	$f_{yk}$	450 [N/mm <sup>2</sup> ]	[Tab. 11.3.lb]
<b>Tensione caratteristica di rottura a trazione</b>	$f_{tk}$	540 [N/mm <sup>2</sup> ]	[Tab. 11.3.lb]
<b>Rapporto tra rottura e snervamento caratteristici</b>	$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.15 < 1.35	[Tab. 11.3.lb]
<b>Rapporto tra snervamento reale e nominale</b>	$(f_y/f_{y,nom})_k$	≤ 1.25	[Tab. 11.3.lb]
<b>Allungamento a rottura</b>	$(A_{gt})_k$	≥ 7.5%	[Tab. 11.3.lb]
<b>Modulo di elasticità medio</b>	$E_s$	210000 [N/mm <sup>2</sup> ]	-
<b>Coefficiente di dilatazione termica</b>	$\alpha_s$	0.00001 [°C <sup>-1</sup> ]	-
<b>Massa volumica</b>	$\rho_s$	7850 [kg/m <sup>3</sup> ]	[11.3.2.4]

Tabella 3.13 proprietà caratteristiche dell'acciaio per armature B450C secondo D.M. 2018 (paragrafo 11.3.2.1)

### 3.4.4. RESISTENZE DI CALCOLO

Le proprietà dei materiali riportate ai punti precedenti conducono, attraverso l'applicazione dei coefficienti di sicurezza parziali per i materiali previsti dal D.M. 17 gennaio 2018 al paragrafo 4.1.2, alla determinazione dei seguenti valori di progetto per calcestruzzo ed acciaio.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di calcestruzzo	C32/40		
Coefficiente di sicurezza parziale	$\gamma_c$	1.5	[4.1.2.1]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	18.81 [N/mm <sup>2</sup> ]	[4.1.2.1.1.1]
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$	1.47 [N/mm <sup>2</sup> ]	[4.1.2.1.1.2]
Tensione di aderenza ultima; barre ad aderenza migliorata	$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$	3.30 [N/mm <sup>2</sup> ]	[4.1.2.1.1.4]
Deformazione convenzionale di rottura	$\epsilon_{cu}$	-0.35 %	[4.1.2.1.2.2]

Tabella 3.14 valori di progetto per il calcestruzzo C32/40, utilizzato per le strutture dell'impalcato, secondo D.M. 2018 (paragrafo 4.1.2)

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di acciaio	B450C		
Coefficiente di sicurezza parziale	$\gamma_s$	1.15	[4.1.2.1.1.3]
Resistenza di calcolo	$f_{ys} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$	391.3 [N/mm <sup>2</sup> ]	[4.1.2.1.1.3]
Deformazione di snervamento	$\epsilon_{yd} = \frac{f_{ys}}{E_s}$	0.186 %	-
Deformazione convenzionale di rottura	$\epsilon_{sd}$	0.01	[4.2.1.1]

Tabella 3.15 valori di progetto per l'acciaio per armature B450C, utilizzato per la soletta dell'impalcato, secondo D.M. 2018 (paragrafo 4.1.2)

### 3.5. UNITA' DI MISURA

Nel seguito della relazione si adotteranno le seguenti unità di misura:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| – per i carichi            | kN, kN/m <sup>2</sup> , kN/m <sup>3</sup>                         |
| – per le azioni di calcolo | kN, kNm, kNcm   |
| – per le tensioni          | MPa, kN/cm <sup>2</sup> , daN/cm <sup>2</sup> , N/cm <sup>2</sup> |

Dove non diversamente specificato le unità di misura sono kN e m.

PROGETTAZIONE ATI:

#### 4. ANALISI DEI CARICHI

##### 4.1. CARICHI PERMANENTI ( $G_1$ E $G_2$ )

##### 4.1.1. CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI ( $G_1$ )

In questa fase si considerano agenti il peso proprio della struttura metallica, delle lastre prefabbricate, del getto della soletta che è ancora inerte e della veletta.

La struttura resistente in questa fase di carico è costituita unicamente dalle travi metalliche.

Il peso di analisi della carpenteria metallica è considerato pari a circa 350 kg/m<sup>2</sup> di impalcato.

Soletta	$25 \text{ kN/m}^3 \times (0.27 \text{ m} \times 12.00 \text{ m})$	=	81.00 kN/m
Carpenteria metallica	$3.50 \text{ kN/m}^2 \times 12.00 \text{ m}$	=	42.00 kN/m
Veletta metallica	$1.00 \text{ kN/m} \times 2$	=	2.00 kN/m
Passerella di ispezione metallica	$1.00 \text{ kN/m} \times 2$	=	2.00 kN/m
			127.00kN/m

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante lo schema statico sotto riportato.



Figura 4.1 Modello di calcolo per carichi permanenti strutturali

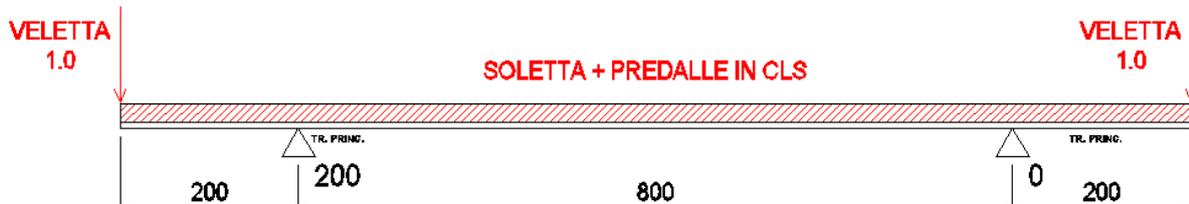


Figura 4.2 Pesì propri strutturali

I valori delle reazioni sono i seguenti:

	<b>R<sub>0</sub>*</b> <b>[kN/m]</b>	<b>R<sub>200</sub>*</b> <b>[kN/m]</b>
<b>Soletta</b>	40.50	40.50
<b>Carpenteria metallica</b>	21.00	21.00
<b>Veletta</b>	1.00	1.00
<b>Passerella di ispezione</b>	1.00	1.00
<b>Fase 1, totale</b>	63.50	63.50

Tabella 4.1 reazioni per carichi permanenti strutturali

#### 4.1.2. CARICHI PERMANENTI PORTATI ( $G_2$ )

In questa fase la soletta è interamente reagente ed i carichi agenti sono i permanenti portati di impalcato come pavimentazione, cordoli, sicurtvia, impianti, etc.

Pavimentazione	$3.00 \text{ kN/m}^2 \times 10.50 \text{ m}$	= 31.50 kN/m
Cordolo	$2 \times 4.25 \text{ kN/m}^2 \times 0.75 \text{ m}$	= 6.38 kN/m
Guard Rail con rete integrata	$3.00 \times 2 \text{ kN/m}$	= 6.00 kN/m
Smaltimento acque	$1.50 \times 2 \text{ kN/m}$	= 3.00 kN/m
		46.88 kN/m

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante lo schema statico sotto riportato.



Figura 4.3 Modello di calcolo per carichi permanenti portati

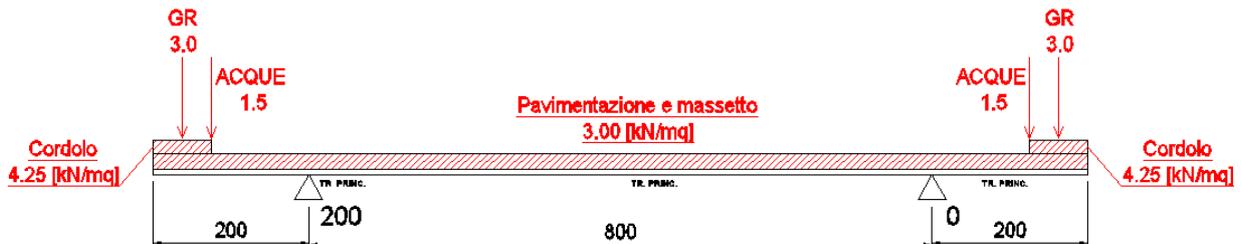


Figura 4.4 reazioni per carichi permanenti portati.

I valori delle reazioni sono i seguenti:

	$R_0^*$ [kN/m]	$R_{200}^*$ [kN/m]
<b>Pavimentazione</b>	15.75	15.75
<b>Cordolo</b>	3.19	3.19
<b>Guard Rail + rete</b>	3.00	3.00
<b>Smaltimento acque</b>	1.50	1.50
<b>Fase 2, totale</b>	23.44	23.44

Tabella 4.2 reazioni per carichi permanenti portati.

## 4.2. CARICHI VERTICALI DA TRAFFICO (Q<sub>1</sub>)

I carichi variabili da traffico sono definiti dagli Schemi di Carico descritti nel §5.1.3.3 delle NTC2018.

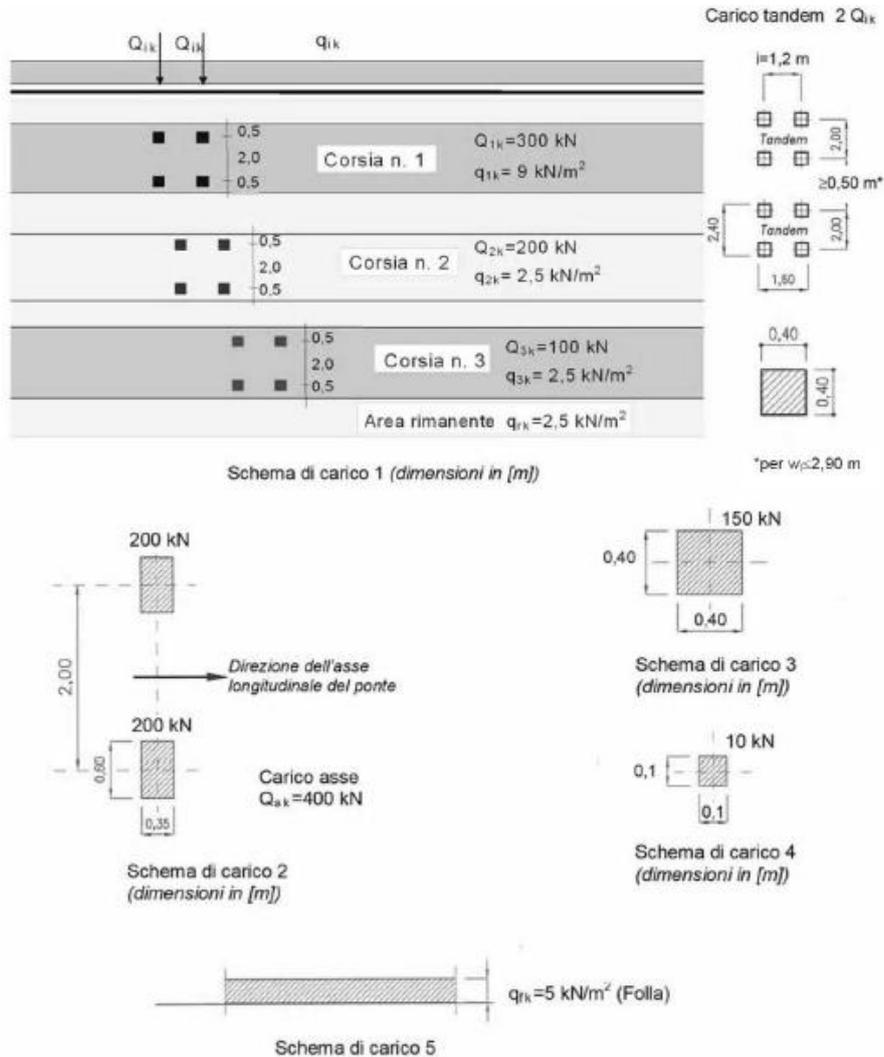


Figura 4.5 Schemi di carico 1÷5, dimensioni in m [Figura 5.1.2 – NTC2018].

La tabella seguente (Tab. 5.1.II - NTC2018) riepiloga l'intensità dei carichi Q<sub>ik</sub> e q<sub>ik</sub> per le diverse corsie.

Posizione	Carico asse Q <sub>ik</sub> [kN]	q <sub>ik</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9.00
Corsia Numero 2	200	2.50
Corsia Numero 3	100	2.50
Altre corsie	0	2.50

Tabella 4.3 Intensità dei carichi Q<sub>ik</sub> e q<sub>ik</sub> per le diverse corsie

Lo Schema di Carico 2 è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0.60 m ed altezza 0.35 m.

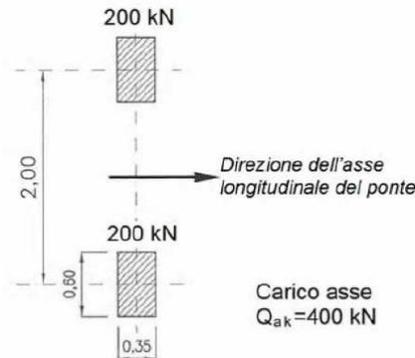


Figura 4.6 Schema di Carico 2 (Figura 5.1.2 – NTC2018).

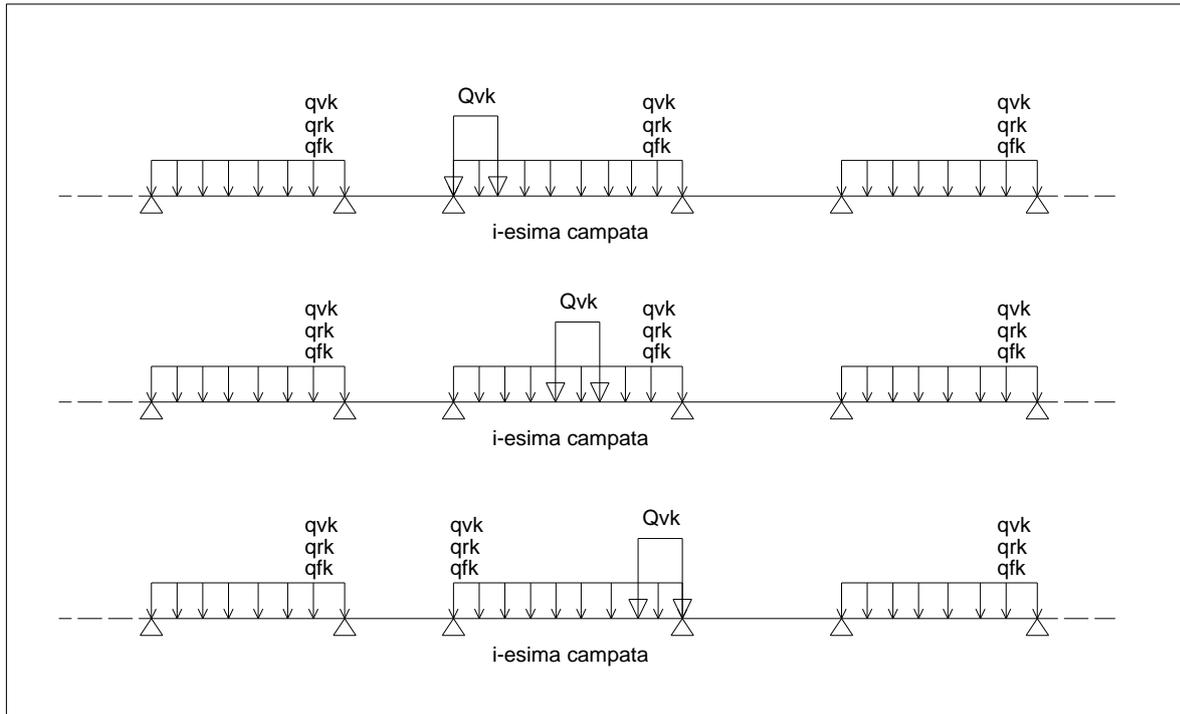
#### 4.2.1. RIPARTIZIONE LONGITUDINALE DEI CARICHI

La ripartizione longitudinale che massimizza il momento flettente nella i-esima campata viene ricavata spostando il carico  $Q_{1k}$  all'interno della campata stessa.

Nel modello di analisi i due carichi concentrati, corrispondenti al singolo asse del veicolo  $Q_{1k}$ , vengono schematizzati con un carico uniformemente distribuito equivalente della lunghezza di 2.4 m applicato sulle travi principali, ripartizione sicuramente cautelativa considerando l'impronta della ruota e l'effettiva diffusione del carico al baricentro delle travi metalliche. Oltre al carico tandem sono previsti i carichi uniformemente distribuiti ( $q_{1k}$ ,  $q_{rk}$ ,  $q_{fk}$ ) i quali oltre che nella campata in cui è presente il carico tandem vengono applicati e parzializzati nelle rimanenti campate in funzione della linea di influenza della caratteristica di sollecitazione massimizzata (momento flettente o taglio).

**4.2.2. MASSIMO MOMENTO FLETTENTE IN CAMPATA**

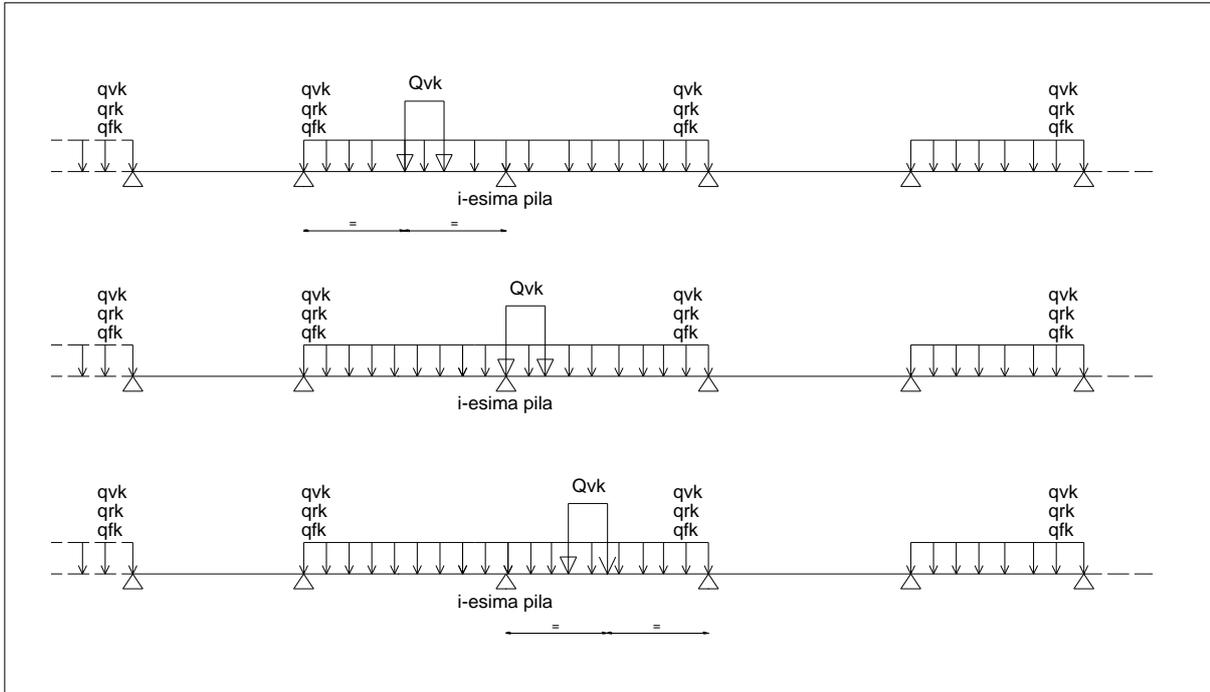
Per massimizzare il momento flettente positivo in ogni sezione della *i*-esima campata si fa avanzare di 1.5 m il carico Tandem partendo dall'appoggio iniziale della campata e facendolo arrivare all'estremo opposto della campata, così come illustrato nel grafico sottostante. Le rimanenti campate sono caricate con i carichi distribuiti frazionabili seguendo l'andamento della linea di influenza del momento flettente.



**Figura 4.7** Disposizione dei carichi mobili per massimizzare il momento positivo in campata.

**4.2.3. MASSIMO MOMENTO FLETTENTE IN PILA – MASSIMA REAZIONE**

Per massimizzare il momento flettente negativo sulla pila della i-esima campata si fa avanzare di 1.5 m il carico Tandem partendo dalla mezzeria della campata precedente e facendolo arrivare alla mezzeria della campata successiva, così come illustrato nel grafico sottostante. Le rimanenti campate sono caricate con i carichi distribuiti frazionabili seguendo l'andamento della linea di influenza del momento flettente.



**Figura 4.8** Disposizione dei carichi mobili per massimizzare il momento negativo in pila.

#### 4.2.4. MASSIMO TAGLIO IN CAMPATA

Per massimizzare il taglio di ogni sezione trasversale della *i*-esima campata si fa avanzare di 1.5 m il carico Tandem partendo dalla mezzeria della campata precedente e facendolo arrivare alla mezzeria della campata successiva, così come illustrato nel grafico sottostante. Le rimanenti campate sono caricate con i carichi distribuiti frazionabili seguendo l'andamento della linea di influenza del taglio.

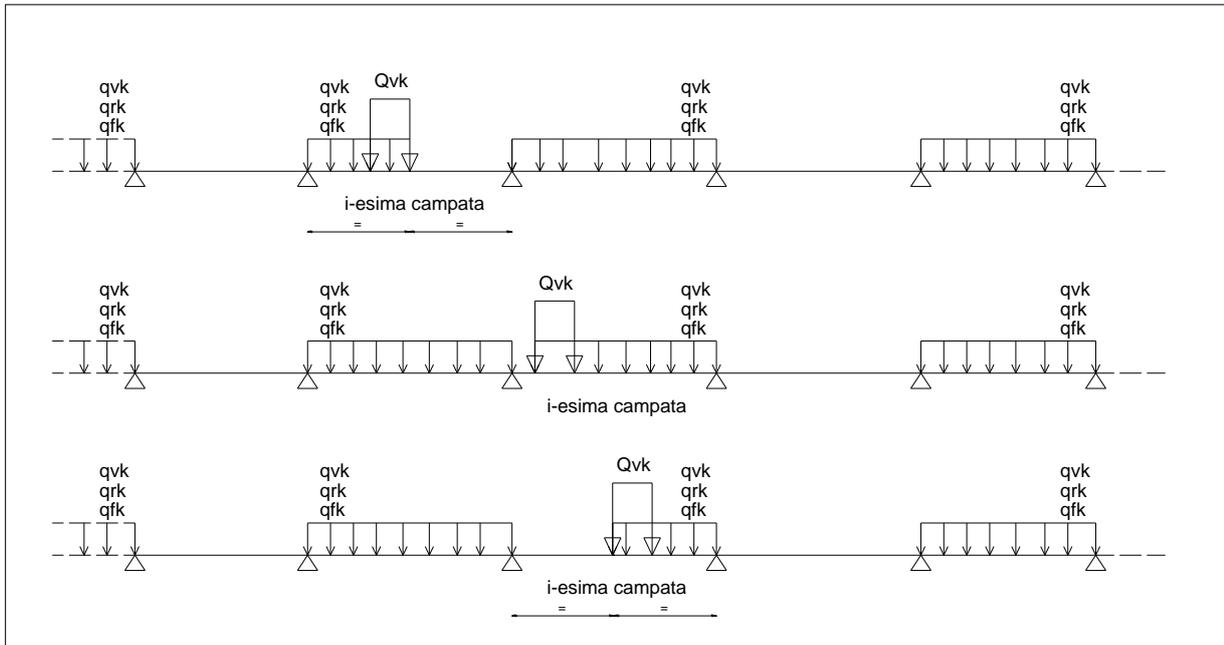


Figura 4.9 Disposizione dei carichi mobili per massimizzare il taglio.

#### 4.2.5. RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI MOBILI

La ripartizione trasversale dei carichi è stata eseguita considerando le condizioni di carico di seguito riportate, in esse il valore del carico concentrato rappresenta la singola ruota, mentre i carichi distribuiti sono valutati a metro lineare.

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante uno schema statico di trave su 3 appoggi con due sbalzi esterni.

##### 4.2.5.1. Massimo carico verticale su impalcato (files Mext)

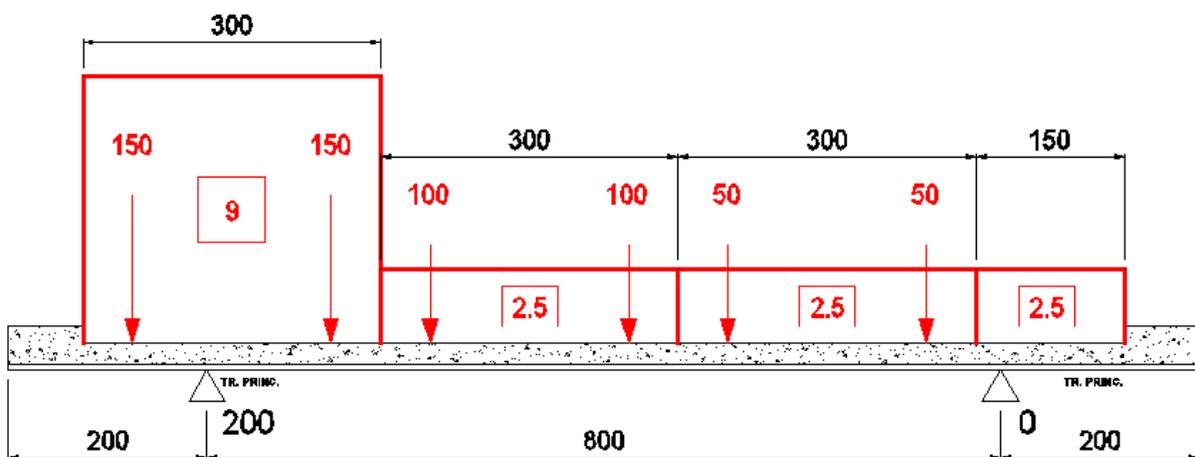


Figura 4.10 Schema di carico.

	$Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m]	$q_f$ [kN/m]
$R_{200}^*$	431.25	32.02	-
$R_0^*$	168.75	13.73	-
<b>TOTALE</b>	600	45.75	-

Tabella 4.4 reazioni per carichi da traffico Mext.

4.2.5.2. Massimo carico torcente su trave esterna (files T2ext)

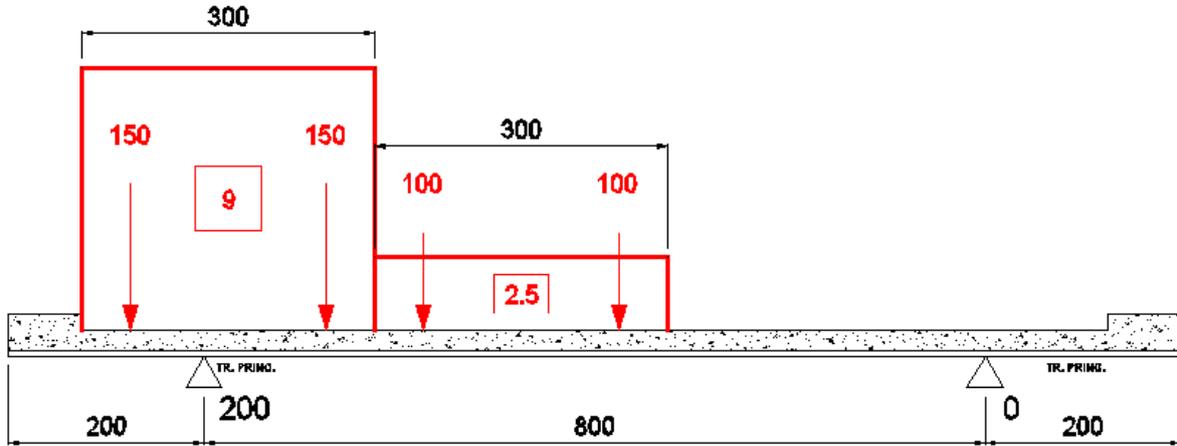


Figura 4.11 Schema di carico.

	$Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m]	$q_f$ [kN/m]
$R_{200}^*$	409.38	30.61	-
$R_0^*$	90.62	3.89	-
<b>TOTALE</b>	500	34.5	-

Tabella 4.5 reazioni per carichi da traffico T2ext

4.2.5.3. Massimo carico su traverso (files T1ext)

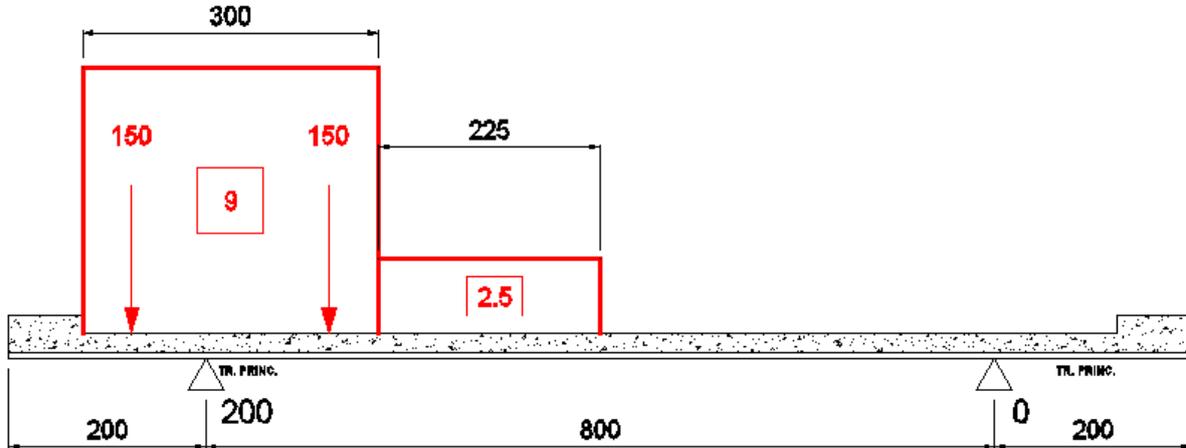


Figura 4.12 Schema di carico.

	$Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m]	$q_f$ [kN/m]
$R_{200}^*$	290.63	29.76	-
$R_0^*$	9.38	2.87	-
<b>TOTALE</b>	300	32.63	-

Tabella 4.6 reazioni per carichi da traffico T1ext.

### 4.3. AZIONE DEL RITIRO

#### 4.3.1. RITIRO E VISCOSITÀ: $\epsilon_2$ E $\epsilon_3$

Gli effetti del ritiro e dello scorrimento viscoso del calcestruzzo vengono valutati secondo la teoria approssimata del metodo di Mörsch (cfr. "Impalcato in sistema misto acciaio-calcestruzzo", Matildi-Mele, Edizioni Italsider), ossia sul concetto di deformazione del calcestruzzo totalmente impedita dalla trave metallica.

Per effetto della deformazione impedita nasce una azione assiale di trazione nella soletta e di compressione (eccentrica) per la sezione composta trave+soletta, come evidenziato nella seguente figura.

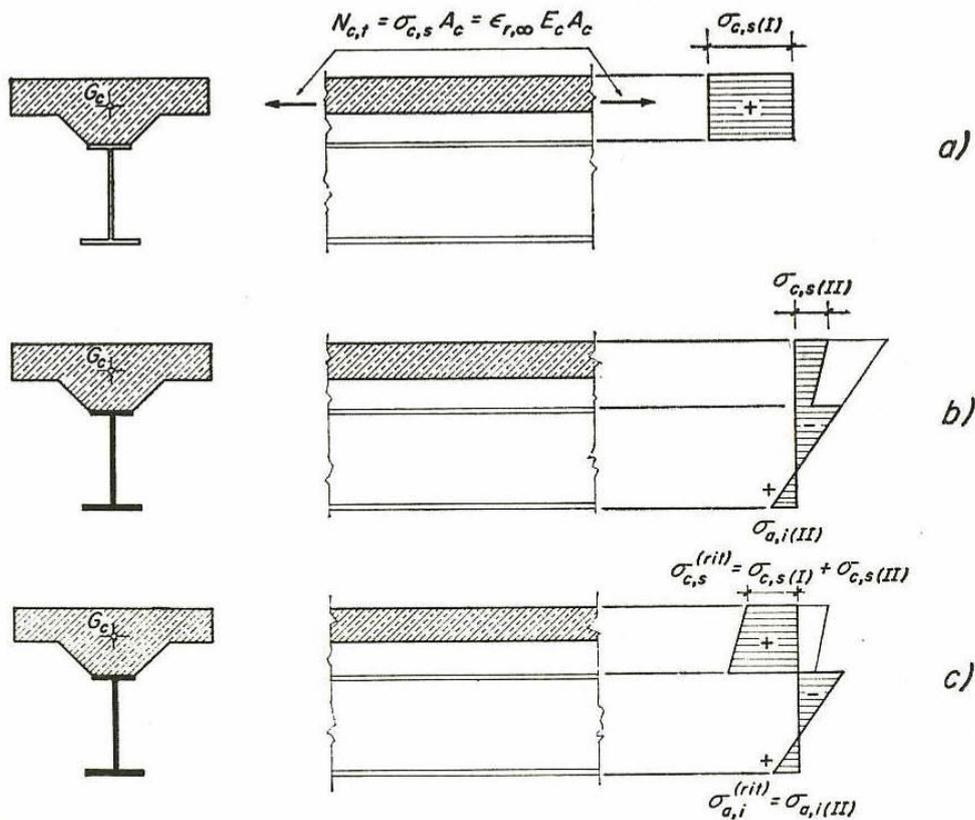


Figura 4.13 Andamento tensioni interne per l'effetto del ritiro del calcestruzzo della soletta.

#### 4.3.2. DEFORMAZIONE DA RITIRO E COEFFICIENTE DI VISCOSITÀ

##### Ritiro e viscosità del calcestruzzo

Nel presente paragrafo si riporta, secondo quanto previsto dalla normativa vigente (D.M. 14/01/08 par. 11.2.10.6), il calcolo della deformazione a tempo infinito per ritiro e il relativo coefficiente di viscosità.

Proprietà della sezione tipica dell'impalcato

Larg. impalcato=	12.00	m	
$S_{\text{getto}}$ =	27.00	cm	Spessore soletta
$S_{\text{predalla}}$ =	6.00	cm	Spessore predalla

da cui si ottiene

$A_c$ =	2.52	m <sup>2</sup>	area sezione getto in calcestruzzo
$u$ =	12.00	m	perimetro della sezione in calcestruzzo esposta all'aria
$h_0$ =	420.00	mm	$2Ac/u$ (dimensione fittizia)
$k_h$ =	0.72		(tabella 11.2.Vb)

Proprietà del calcestruzzo utilizzato	
$R_{ck}$ =	40 N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm}$ =	33643 N/mm <sup>2</sup>
$E_a$ =	210000 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$ =	33 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cm}$ =	41 N/mm <sup>2</sup>

Si riportano quindi i seguenti valori di deformazione ottenuti in funzione dell'umidità di progetto assunta (80%) il coefficiente di Viscosità e quelli di omogeneizzazione derivanti

Deformazione da ritiro per essiccamento	$\epsilon_{c0}$ =	-0.00026
Valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento	$\epsilon_{cd,\infty}$ =	-0.00019
Valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno	$\epsilon_{ca,\infty}$ =	-0.00006
<b>Deformazione totale da ritiro</b>	$\epsilon_{CS,\infty}$ =	-0.00025
Coefficiente di viscosità ( $t_0 > 60$ )	$\phi_{(\infty,t_0)}$ =	1.660
Coefficiente di omogeneizzazione per azioni di breve durata (Fase 3)	$n_3$ =	6.24
Coefficiente di omogeneizzazione per azioni di lunga durata (Fase 2)	$n_2 = n_3 \cdot (1 + \phi_{(\infty,t_0)})$ =	16.60

PROGETTAZIONE ATI:

L'azione del ritiro, ossia la deformazione del calcestruzzo (ritiro) durante le fasi di indurimento, porta a una coazione interna dovuta all'opposizione della trave metallica a detta deformazione.

L'effetto è quello di una trazione agente sul baricentro del getto che quindi rispetto al baricentro della trave metallica è eccentrica e crea un momento flettente

L'effetto del ritiro si valuta, quindi, mediante la sovrapposizione di due effetti:

- 1) Una trazione agente nel baricentro della soletta ( $N_r$ )
- 2) Una pressoflessione applicata alla sezione composta: l'effetto flessionale è valutato applicando un momento al modello di calcolo, mentre la compressione è applicata direttamente in fase di verifica.

Nel seguito si riporta il calcolo dell'azione Normale e del conseguente effetto flettente

$A_c =$	2.52 m <sup>2</sup>	
$n = n_2 =$	16.60	Coeff. di omogeneizzazione
$\epsilon_{cs,\infty} =$	-0.00025	Deformazione totale da ritiro
$b =$	2.074 m	Distanza baricentro getto cls - baricentro medio sez. mista in Fase 2

$$N_{r,eq} = (A_c \cdot \epsilon_{cs,\infty} \cdot E_a) / n_2 = 7824 \text{ kN}$$

$$M_{r,eq} = N_{r,eq} \cdot b^2 = 16220 \text{ kNm}$$

$N_{r,eq} \cong$	<b>3920</b>	kN	(per ciascuna trave)
$M_{r,eq} \cong$	<b>8120</b>	kNm	(per ciascuna trave)

#### 4.4. CEDIMENTI VINCOLARI: $\varepsilon_4$

Per tenere conto dei cedimenti delle sottostrutture a sostegno dell'impalcato, si valuta l'effetto iperstatico associato a tale situazione utilizzando per ciascun appoggio del ponte la seguente formula come indicato al §5.1.3.2 delle NTC2018.

$$\begin{aligned} \text{Cedimento sull'i-esima pila} & \quad \bar{\delta}_{i,p} = (l_{i-1} + l_i) / 2 \times 1 / 5000 \\ \text{Cedimento sull'i-esima spalla} & \quad \bar{\delta}_{i,sp} = l_i / 2 \times 1 / 5000 \end{aligned}$$

Cedimento [mm]		$\delta_i$ [mm]
Spalla 1	60000 / (2 x 5000)	6.0
Pila	(60000 + 90000) / (2 x 5000)	15.0
Spalla 2	60000 / (2 x 5000)	6.0

Tabella 4.7 Cedimenti vincolari

In particolare vengono considerate le due condizioni di carico che prevedono il cedimento della pila, allo scopo di massimizzare i momenti in campata, e quello delle spalle per massimizzare il momento in pila.

#### 4.5. FRENATURA ( $Q_3$ )

Secondo il D.M. 17/01/2018 l'azione longitudinale di frenamento è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1, e è uguale a:

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

Considerando la lunghezza massima del viadotto risulta:

$$Q_3 = (0.6 \times 2 \times 300 + 0.1 \times 9 \times 3 \times 210) \text{ kN} = 927 \text{ kN} < 900 \text{ kN} \Rightarrow Q_3 = \mathbf{900 \text{ kN}}$$

Poiché la definizione dei gruppi di carico di cui alla tabella 5.1.IV del D. Min. 17/01/2018 non prevede la compresenza tra carichi orizzontali e carichi verticali caratteristici (gruppo 1), prevedendo la loro combinazione solo al gruppo 2 (in concomitanza ai carichi mobili frequenti), la presenza dell'azione della frenatura non è stata presa in considerazione nel dimensionamento dell'impalcato.

#### 4.6. AZIONE CENTRIFUGA (Q<sub>4</sub>)

Non presente

#### 4.7. AZIONE DEL VENTO (Q<sub>5</sub>)

Si valuta la pressione del vento in accordo con il paragrafo 3.3 del DM. 17/01/2018. La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p_w = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d,$$

dove:

$q_b$  = è la pressione cinetica di riferimento;

$c_e$  = è il coefficiente di esposizione;

$c_p$  = è il coefficiente di pressione (o di forma, o aerodinamico);

$c_d$  = è il coefficiente dinamico.

#### AZIONE VENTO

Zona		3	[-]
Velocità di riferimento zona	$v_{b,0} =$	27	[m/s]
Classe di Rugosità		C	[-]
Distanza dal mare		100	[km]
quota sito s.l.m.	$a_s =$	100	[m]
Categoria		III	[-]
parametri sito	$a_0 =$	500	[m]
parametri sito	$k_a =$	0.02	[1/s]
Velocità di riferimento sito	$v_b =$	27	[m/s]
Tempo di ritorno	$T_R =$	50	[anni]
	$\alpha_R =$	1.00	[-]
Velocità di picco	$v_r = v_b \cdot \alpha_R =$	27.02	[m/s]
altezza caratteristica struttura	$z =$	44	[m]
parametro sito	$k_r =$	0.2	[-]
altezza di riferimento sito	$z_0 =$	0.1	[m]
altezza minima	$z_{min} =$	5	[m]
densità aria	$\rho =$	1.25	[kg/m <sup>3</sup> ]
pressione cinetica base	$q_b =$	456	[N/m <sup>2</sup> ]
Coefficiente di Topografia	$c_t =$	1	[-]
Coefficiente di Esposizione	$c_e =$	3.19	[-]
Coefficiente Dinamico	$c_d =$	1	[-]

$$q_d = c_e \cdot c_d \cdot q_b = 1.45 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

PROGETTAZIONE ATI:

#### 4.7.1. VENTO SULL'IMPALCATO

La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento è assimilata ad una parete rettangolare continua di altezza costante pari a 3 m, dalla pavimentazione stradale.

In riferimento alla distanza del baricentro della generica sezione d'impalcato dal limite superiore di soletta, si calcolano il carico orizzontale e il momento torcente dovuto al vento scarico, il carico orizzontale e il momento torcente dovuto al vento carico.

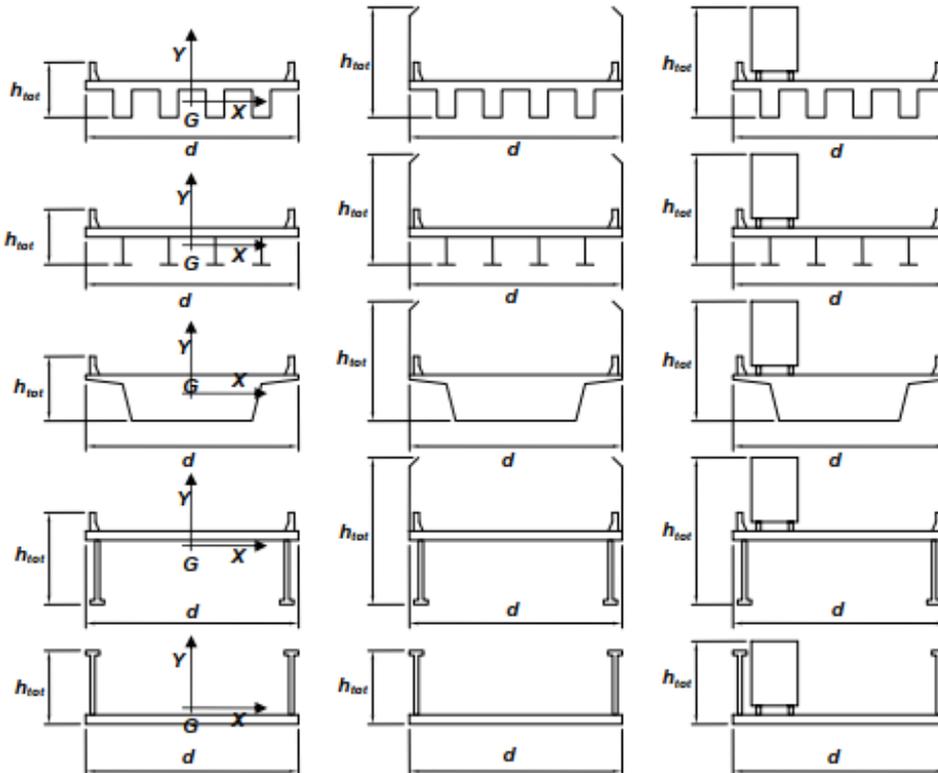


Figura 4.14 Tipi di impalcato da ponte trattati nel presente paragrafo delle CNR-DT 207/2008.

Ammettendo che il vento agisca in direzione prevalentemente orizzontale e ortogonalmente all'asse dell'impalcato, esso esercita nel piano della sezione un sistema di azioni aerodinamiche per unità di lunghezza riconducibili a una forza parallela alla direzione del vento,  $fX$ , a una forza verticale,  $fY$ , e a un momento intorno alla linea d'asse,  $mZ$  (Figura G.54, Eq. (3.14), paragrafo 3.3.4). Tali azioni sono quantificate mediante una coppia di coefficienti di forza,  $cfX$  e  $cfY$ , e mediante un coefficiente di momento,  $cmZ$ .

**Azione del vento lungo x (trasversale)**

È necessario, inoltre, determinare il coefficiente di forza in direzione x, che è calcolato facendo riferimento al §8.3 dell'UNI EN 1991-1-4:2005 e facendo la distinzione tra la condizione di ponte carico e quella di ponte scarico.

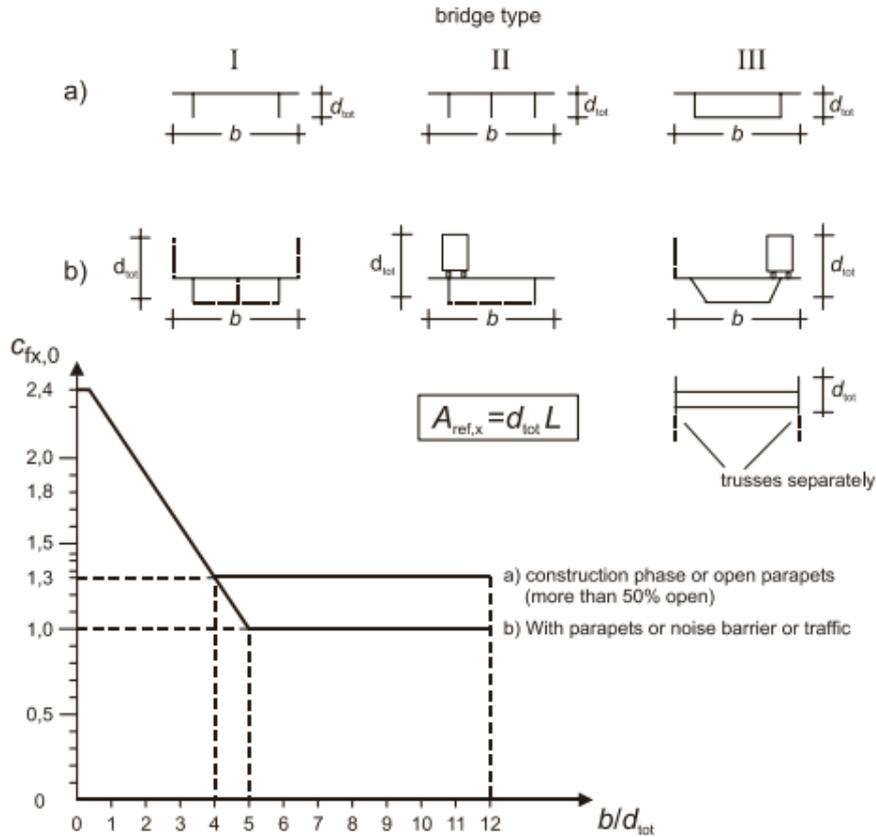


Figure 8.3 — Force coefficient for bridges,  $c_{fx,0}$

Nel caso di ponte scarico si ha che:

Altezza trave	$h_1 =$	<input type="text" value="5"/>	[m]
Altezza soletta+cordolo	$h_s =$	<input type="text" value="0.44"/>	[m]
Altezza sistema di ritenuta	$d_1 =$	<input type="text" value="1.50"/>	[m]
Altezza totale (struttura + sistema di ritenuta)	$d_{tot} =$	6.94	[m]
Larghezza impalcato	$b =$	<input type="text" value="12"/>	[m]
	$b/d_{tot} =$	1.7	
Coefficiente di forza	$c_{f,x} =$	2.0	
Lunghezza del ponte	$L =$	<input type="text" value="210"/>	[m]
Area di riferimento x	$A_{ref,x} =$	1457.4	[m <sup>2</sup> ]
Azione concentrata dovuta al vento	$F_x = A_{ref,x} * q_d * c_{f,x} =$	4275	[kN]

<b>Azione totale X vento su impalcato</b>	$p_{xtot} = F_x/L =$	<b>20.36 [kN/m]</b>
---	----------------------	---------------------

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Nel caso di ponte carico si ha che:

Altezza trave	$h_1 =$	<input type="text" value="5"/>	[m]
Altezza soletta+pavimentazione	$h_s =$	<input type="text" value="0.37"/>	[m]
Altezza stesa di carico	$h_c =$	<input type="text" value="3.00"/>	[m]
Altezza totale (struttura + stesa di carico)	$d_{tot} =$	8.37	[m]
Larghezza impalcato	$b =$	<input type="text" value="12"/>	[m]
	$b/d_{tot} =$	1.4	
Coefficiente di forza	$c_{f,x} =$	2.1	
Lunghezza del ponte	$L =$	<input type="text" value="210"/>	[m]
Area di riferimento x	$A_{ref,x} =$	1757.7	[m <sup>2</sup> ]
Azione concentrata dovuta al vento	$F_x = A_{ref,x} * q_d * c_{f,x} =$	5391	[kN]

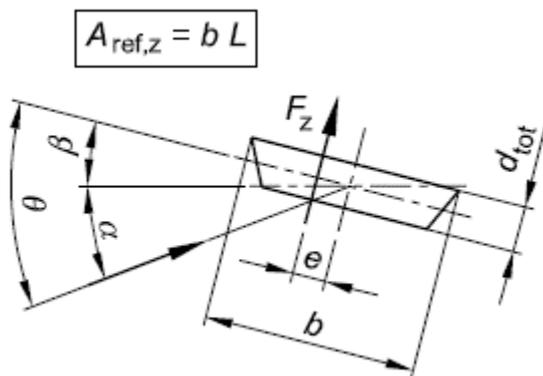
<b>Azione totale X vento su impalcato</b>	$p_{xtot} = F_x/L =$	<b>25.67</b> [kN/m]
---	----------------------	---------------------

**Azione del vento lungo y (longitudinale)**

Si assume che la forza del vento agente lungo y sia pari al 25% della forza del vento agente lungo x nel caso di ponte scarico.

<b>Azione totale Y vento su impalcato</b>	$p_{ytot} = 0.25 * p_{xtot} =$	<b>5.09</b> [kN/m]
---	--------------------------------	--------------------

**Azione del vento lungo z (verticale)**



Larghezza impalcato	$b =$	<input type="text" value="12"/>	[m]
Area di riferimento z	$A_{ref,z} = b * L =$	2520.0	[m <sup>2</sup> ]
Coefficiente di forza verso alto e basso	$c_{f,z} =$	<input type="text" value="0.9"/>	(vedere EC1-1-4 §8.3.3)
Azione concentrata dovuta al vento	$F_z = A_{ref,z} * q_d * c_{f,z} =$	3297	[kN]
Eccentricità applicazione carico	$e = b/4 =$	3.00	[m]

<b>Azione totale Z vento su impalcato</b>	$p_{ztot} = F_z/L =$	<b>15.70</b> [kN/m]
---	----------------------	---------------------

PROGETTAZIONE ATI:

#### 4.8. AZIONE TERMICA (Q<sub>7</sub>)

##### 4.8.1. VARIAZIONE TERMICA DIFFERENZIALE

La trattazione teorica della variazione termica differenziale sulla sezione mista acciaio-clc è del tutto analoga a quella del ritiro e viene effettuata sulla base delle ripartizioni di temperatura estiva ed invernale previste dalle norme UNI EN 1991-2-5 (di cui si riporta uno stralcio nella figura sottostante).

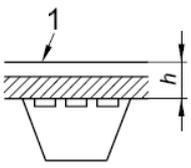
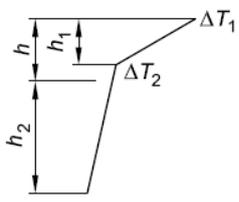
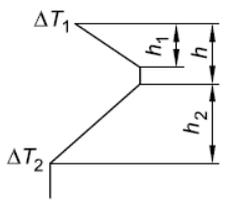
Tipo di Costruzione	Differenza di Temperatura ( $\Delta T$ )																									
	(a) Riscaldamento	(b) Raffreddamento																								
 <p>2a. Impalcato di calcestruzzo su travi di acciaio a cassone, travi di acciaio reticolari o a parete piena 1 100 mm di rivestimento</p>	<p>Procedura normale</p>  <p><math>h_1 = 0,6 \text{ m}</math> <math>h_2 = 0,4 \text{ m}</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>h</math></th> <th><math>\Delta T_1</math></th> <th><math>\Delta T_2</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td>°C</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>13</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>16</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	$h$	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$	m	°C	°C	0,2	13	4	0,3	16	4	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>h</math></th> <th><math>\Delta T_1</math></th> <th><math>\Delta T_2</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td>°C</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>-3,5</td> <td>-8</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>-5,0</td> <td>-8</td> </tr> </tbody> </table>	$h$	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$	m	°C	°C	0,2	-3,5	-8	0,3	-5,0	-8
$h$	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$																								
m	°C	°C																								
0,2	13	4																								
0,3	16	4																								
$h$	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$																								
m	°C	°C																								
0,2	-3,5	-8																								
0,3	-5,0	-8																								

Figura 4.15 Andamento temperature interne all'impalcato.

Dalle valutazioni rigorose sul calcolo dei gradienti termici efficaci nelle usuali sezioni da ponte si evidenzia che la soletta risulta nelle due configurazioni (riscaldamento e raffreddamento), in termini di parametri efficaci, sempre "più calda" della trave metallica. Per tale ragione la condizione di variazione termica differenziale nell'impalcato si potrebbe ritenere sempre discorde con il ritiro: tuttavia a favore di sicurezza ritiro e termica, in fase di inviluppo delle sollecitazioni di progetto, potranno essere concordi o discordi allo scopo di massimizzarne gli effetti sulla sezione.

Molto a favore di sicurezza si è lo stesso considerato un  $\Delta T = \pm 10 \text{ °C}$  fra soletta e trave in acciaio, agente in tempi brevi e quindi con coefficiente di omogeneizzazione di fase 3.

In analogia con quanto già illustrato per il ritiro sulle sezioni miste l'effetto della termica differenziale si può tradurre nella seguente considerazione: l'acciaio varia la sua temperatura più rapidamente del clc, il quale contrasta la deformazione delle travi in acciaio. La congruenza fra i due materiali limita la deformazione della trave metallica generando quindi uno stato coattivo composto da:

- Tensoflessione nella trave metallica ipotizzata isolata
- Pressoflessione per la sezione mista.

L'azione equivalente che si genera dovrebbe essere calcolata imponendo una deformazione nulla nelle fibre che separano l'acciaio dal cls. Quindi per annullare la deformazione termica in corrispondenza dell'estradosso della trave metallica deve nascere un'azione dall'equilibrio della sola sezione di acciaio:

$$N_{eq}/A_2 + (N_{eq} e_2) / [J_2 / e_2] = \alpha \Delta T E_2 \quad \text{da cui:}$$

$$N_{eq} = \alpha \Delta T E_2 A_2 \cdot [J_2 / (J_2 + A_2 e_2^2)]$$

A= area

J= momento d'inerzia

Cautelativamente non si considera l'equilibrio alla rotazione e si pone quindi il termine riduttivo da esso derivante pari a  $[J_2 / (J_2 + A_2 e_2^2)] = 1$

$$\text{Conseguentemente } N_{eq} = \alpha \Delta T E_2 A_2$$

In funzione del valore medio della sezione metallica sullo sviluppo dell'impalcato e del gradiente termico ipotizzato si ottiene quindi il seguente valore dell'azione assiale e del relativo momento di trasporto:

#### Calcolo azione termica

$A_a =$	<b>2611</b> cm <sup>2</sup>	Area media della sezione metallica
$\alpha =$	1.20E-05	Coeff. di dilatazione termica acciaio
$\Delta T =$	10 °C	
$N_{t,eq} \cong$	$(\alpha \cdot \Delta T \cdot E_a \cdot A_a) =$	<b>6590</b> kN (per ciascuna trave)
$b_3 =$	1.687 m	Distanza baricentro soletta - baricentro sez. mista in Fase 3
$M_{t,eq} =$	$N_{t,eq} \cdot b_3 =$	<b>11100</b> kNm (per ciascuna trave)

**4.8.2. VARIAZIONE TERMICA UNIFORME**

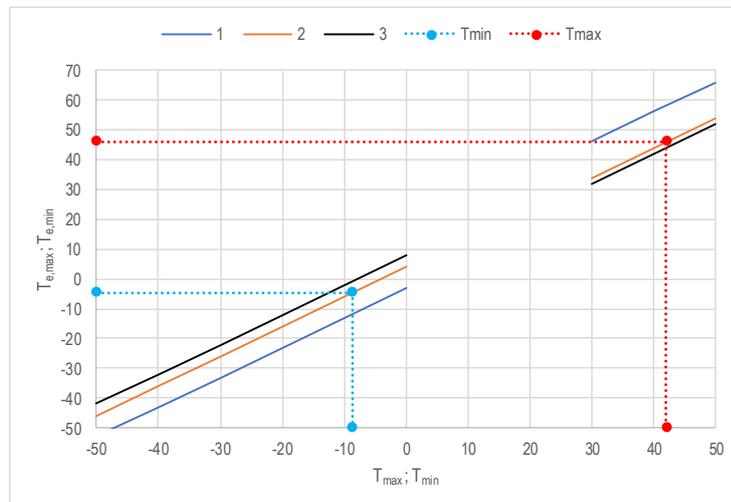
La componente di temperatura uniforme dipende dalla minima e dalla massima temperatura che un ponte raggiunge. Questo porta a un intervallo di variazione uniforme di temperatura che, in una struttura non vincolata porterebbe a una variazione nella lunghezza dell'elemento

**Azioni termiche sugli edifici**

Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\Delta T =$	$\pm 15$	$^{\circ}\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\Delta T =$	$\pm 10$	$^{\circ}\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\Delta T =$	$\pm 25$	$^{\circ}\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\Delta T =$	$\pm 15$	$^{\circ}\text{C}$

**Azioni termiche sui ponti**

Nome del sito	<input type="text" value="Urbania"/>
Regione	<input type="text" value="Marche"/>
Zona	<input type="text" value="III"/>
$a_s$ (Quota su l.m.m. del sito)	<input type="text" value="100"/> m
Tempo di ritorno	<input type="text" value="50"/> anni
Temperatura minima aria esterna	$T_{min} = -9$ $^{\circ}\text{C}$
Temperatura massima aria esterna	$T_{max} = 42$ $^{\circ}\text{C}$
Tipo di impalcato	<input type="text" value="Impalcato a struttura composta"/>
Curva di riferimento	<input type="text" value="2"/>



Temperatura uniforme minima	$T_{e,min} =$	-5	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura uniforme massima	$T_{e,max} =$	46	$^{\circ}\text{C}$

Temperatura iniziale all'atto della regolazione degli appoggi	$T_0 =$	<input type="text" value="15"/>	$^{\circ}\text{C}$
---	---------	---------------------------------	--------------------

Tipo di installazione	<input type="text" value="Stima temperatura accurata e prerogolazione"/>		
Variazione di temperatura iniziale	$\Delta T_0 =$	10	$^{\circ}\text{C}$

Variazione termica in fase di riscaldamento	$\Delta T_{exp,d} = T_{e,max} - T_0 + \Delta T_0 =$	41	$^{\circ}\text{C}$
Variazione termica in fase di raffreddamento	$\Delta T_{con,d} = T_{e,min} - T_0 - \Delta T_0 =$	-30	$^{\circ}\text{C}$

PROGETTAZIONE ATI:

#### 4.9. URTO DI VEICOLO IN SVIO (Q<sub>8</sub>)

Le azioni eccezionali q<sub>8</sub> previste riguardano l'urto dei veicoli in svio contro i guardrails posti ai bordi dell'impalcato stradale.

Il punto 5.1.3.10 del D.M. 2018 rimanda al punto 3.6.3.3.2 dello stesso decreto, che prevede che, in assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti 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 deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1.0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo. Questa forza deve essere applicata su una linea lunga 0.5 m.

Per la verifica si considera una combinazione di carico eccezionale nella quale all'azione d'urto applicato al sicurvia si associa un carico verticale isolato pari ad una ruota del secondo schema di carico (200 kN su un'impronta 0.35 x 0.60 m).

Tale condizione non è però dimensionante per la statica globale dell'impalcato e sarà considerata unicamente nel calcolo della soletta.

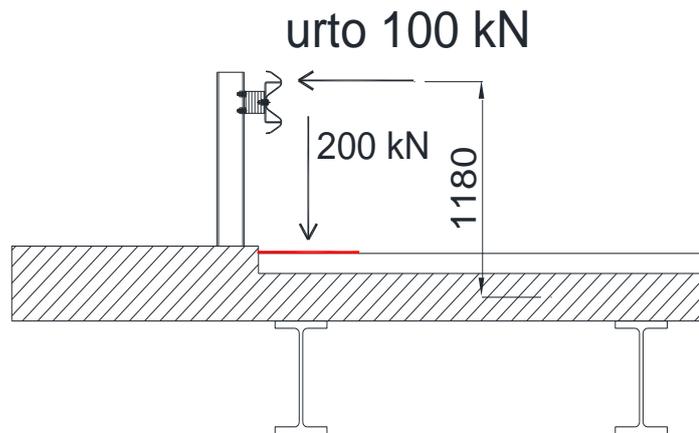


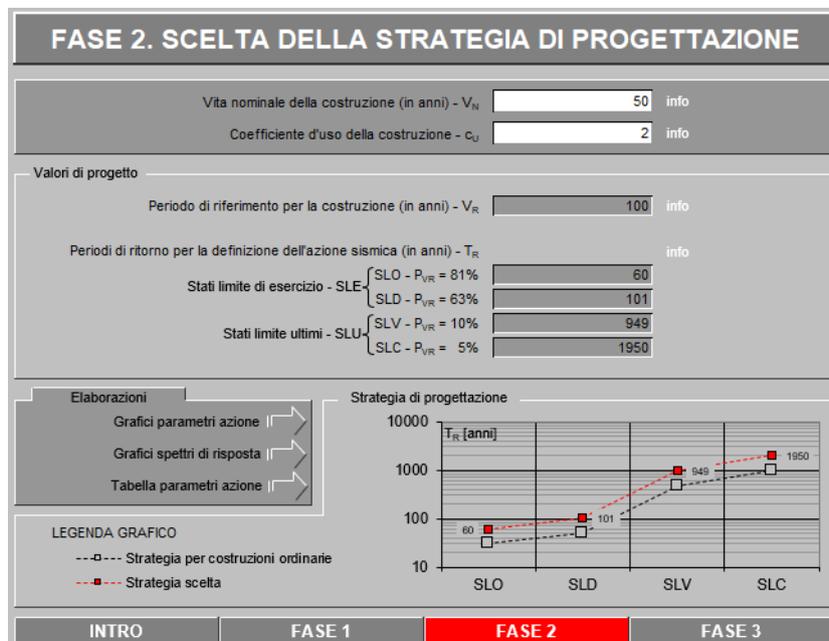
Figura 4.16 Urto del veicolo in svio.

**4.10. AZIONE SISMICA (E)**

Si riporta il calcolo dell'azione sismica in accordo alle NTC2018 eseguito con il foglio di calcolo fornito dal Ministero dei Lavori Pubblici.



**Figura 4.17 Localizzazione geografica del ponte.**



**Figura 4.18 Vita nominale e classe d'uso del ponte.**

PROGETTAZIONE ATI:

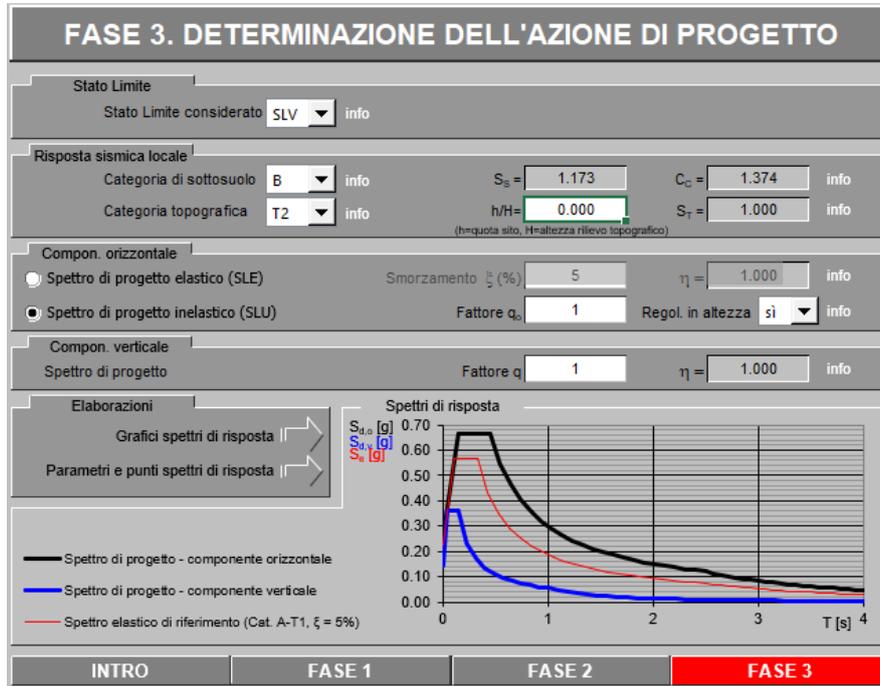
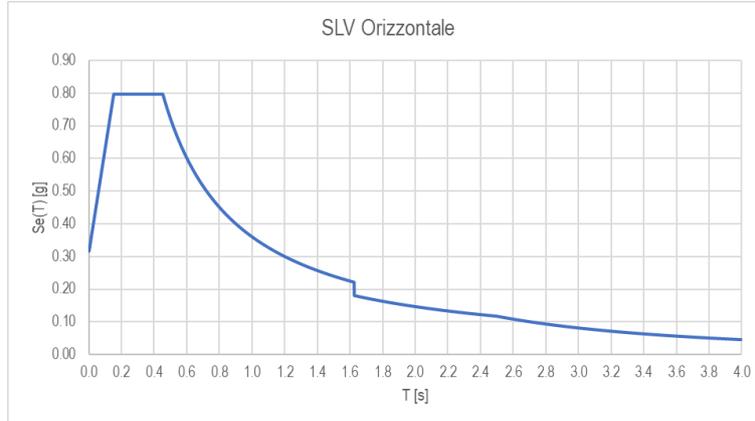
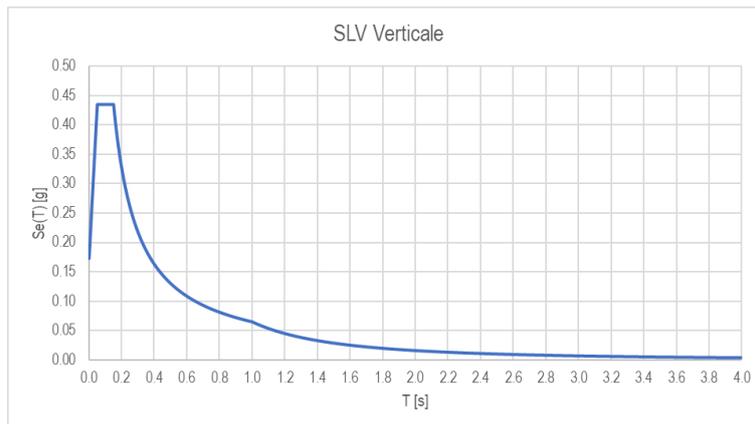


Figura 4.19 Spettri di risposta elastici con smorzamento convenzionale del 5%.

Di seguito si riportano gli spettri smorzati utilizzati. Lo spettro si considera smorzato in corrispondenza di periodi superiori a  $0.8 \times T_{is}$ .



**Figura 4.20 Spettro di risposta orizzontale SLV con smorzamento equivalente del 10%.**



**Figura 4.21 Spettro di risposta verticale SLV con smorzamento equivalente del 10%.**



**Figura 4.22 Spettro di risposta orizzontale SLC con smorzamento equivalente del 10%.**

PROGETTAZIONE ATI:

## 5. CRITERI DI CALCOLO

Nel presente capitolo si riportano i criteri generali di verifica degli elementi strutturali soggetti alle azioni statiche e sismiche, gli approcci e i criteri con cui vengono combinati i carichi.

Non si riporta l'elenco dettagliato di tutte le combinazioni in quanto in numero molto elevato, a causa delle molteplici disposizioni dei carichi mobili sull'impalcato.

### 5.1. CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA PER LE AZIONI STATICHE

Le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali alle azioni statiche sono effettuate tramite il D.M. 17 gennaio 2018, secondo il *criterio semiprobabilistico degli stati limite*.

Tale norma, al paragrafo 2.1, prevede infatti che la sicurezza e le prestazioni di un'opera, o di una parte di essa, debbano essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

In particolare, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Secondo il paragrafo 2.2.3 del D.M. 2018, le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

In conformità al punto 2.3 del D.M. 2018, per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati, quale il metodo di primo livello denominato metodo semiprobabilistico agli stati limite. In tale formulazione, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici,  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$  definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il metodo dei coefficienti parziali di sicurezza espresso dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

Dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

I coefficienti parziali di sicurezza, associati ai materiali ed alle azioni, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

## 5.2. ANALISI GLOBALE ELASTICA

L'analisi è eseguita secondo il metodo globale elastico. Il programma di calcolo utilizzato per la modellazione è il SAP2000<sup>®</sup> versione 22 (licenze di Sap2000 Advanced/Ultimate intestata a SETIN Servizi Tecnici Infrastrutture s.r.l.). Le sollecitazioni ottenute dai singoli modelli di calcolo di ciascuna fase resistente di seguito illustrata vengono involuppate e combinate per ottenere le condizioni di verifica più gravose mediante una macro di post-processione dei risultati che crea il file di input per il programma di verifica delle sezioni miste realizzate con il software PONTI EC4 (licenza di PONTI EC4 intestata a Steel Project Engineering s.r.l.).

PROGETTAZIONE ATI:

### 5.2.1. FASI DI CALCOLO

Trattandosi, nel funzionamento globale dell'impalcato, di un sistema misto acciaio-clc, le azioni agenti vengono suddivise in tre fasi, corrispondenti al grado di maturazione del getto di clc, e quindi ai diversi livelli di rigidità e caratteristiche statiche delle sezioni.

**Fase 1:** considera il peso proprio della struttura metallica, delle lastre prefabbricate, del getto della soletta che, in questa fase, è ancora inerte e delle velette metalliche.

La sezione resistente corrisponde alla sola parte metallica.

**Fase 2:** considera i successivi carichi permanenti applicati alla struttura (pavimentazione, G.R. ecc.) ai quali corrisponde invece una sezione resistente mista acciaio - calcestruzzo.

Per tenere in considerazione i fenomeni " lenti " che accompagnano questa fase, imputabili alla viscosità del calcestruzzo, si adotta un valore del modulo elastico del calcestruzzo corrispondente a quello suggerito dalla normativa, che si traduce, per le verifiche condotte con il metodo degli stati limiti, a considerare un valore del coefficiente di omogeneizzazione "n" pari a 16.65.

Anche gli effetti del ritiro sono da considerarsi " lenti " in quanto concomitanti agli effetti viscosi, e vengono pertanto anch'essi valutati con le caratteristiche di resistenza della sezione della fase 2.

**Fase 3:** corrisponde al transito dei carichi accidentali.

Le sollecitazioni nella sezione resistente acciaio - calcestruzzo vengono calcolate considerando il rapporto tra i moduli elastici effettivi dei due materiali, che vale 6.24, per la classe di resistenza del calcestruzzo ipotizzata C32/40.

Particolare attenzione viene rivolta alla determinazione delle lunghezze delle stese di carico per ottenere in ciascuna sezione la condizione di massimo valore di taglio, di momento flettente o di momento torcente.

In tale fase si tiene inoltre conto degli effetti dovuti alla variazione termica differenziale che si traduce in un'azione normale lungo l'asse del viadotto e relativo momento flettente di trasporto dovuto all'eccentricità baricentro soletta – baricentro sezione mista.

Per esigenze computazionali il calcolo delle sollecitazioni di progetto avverrà suddividendo le diverse condizioni di carico in più modelli di studio, suddivisi in base alla fase di carico di volta in volta presa in esame.

Per esigenze computazioni può essere necessario utilizzare un modello privo di carichi per simulare la condizione di carico nullo, direttamente all'interno dell'involucro si inserisce nella fase di competenza la condizione denominata NULL, che simula l'assenza di carichi nella struttura. I file di studio per le travi principali sono riportati nella seguente tabella.

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

<b>NOME FILE</b>	<b>TIPO FASE</b>	<b>CARICHI</b>
<i>Fase1.sdb</i>	Montaggio – caratteristiche statiche del solo acciaio	Peso proprio strutture metalliche, veletta, predalle metalliche e soletta
<i>Fase2.sdb</i>	Carichi di lunga durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Pesi permanenti portati di impalcato (pavimentazione, marciapiedi, guard-rails, barriere, eventuali impianti)
<i>Ritiro.sdb</i>	Carichi di lunga durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Effetto del ritiro
<i>GT.sdb</i>	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Effetto della variazione termica differenziale (discorde dal ritiro)
<i>VUT.sdb</i>	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Effetto della variazione termica uniforme
<i>Mext_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Carico verticale massimo da traffico sulla sezione trasversale del ponte con 3 stese di carico, addossato alla trave esterna. In funzione delle diverse posizioni del carico mobile ciascun file di analisi conterrà "x" differenti condizioni di carico necessarie a massimizzare le sollecitazioni di momento e taglio secondo la linea di influenza della caratteristica di sollecitazione.
<i>T2ext_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Carico torcente massimo da traffico sulla sezione trasversale del ponte con 2 stese di carico, addossato alla trave esterna. In funzione delle diverse posizioni del carico mobile ciascun file di analisi conterrà "x" differenti condizioni di carico necessarie a massimizzare le sollecitazioni di momento e taglio secondo la linea di influenza della caratteristica di sollecitazione.
<i>T1ext_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Carico verticale da traffico sulla sezione trasversale del ponte con 1 stesa di carico (massimizzazione delle sollecitazioni sul traverso). In funzione delle diverse posizioni del carico mobile ciascun file di analisi conterrà "x" differenti condizioni di carico necessarie a massimizzare le sollecitazioni di momento e taglio secondo la linea di influenza della caratteristica di sollecitazione.
<i>Vento.sdb</i>	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Azione da vento

**Tabella 5.1 Files di studio per l'analisi delle travi principali**

### 5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, il punto 2.5.3 del D.M. 2008 definisce le seguenti tipologie di combinazione delle azioni:

**# Combinazione fondamentale (SLU)**, generalmente impiegata per gli stati limiti ultimi:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

**# Combinazione caratteristica (SLE rara)**, generalmente impiegata per gli stati limiti di esercizio irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

**# Combinazione frequente (SLE frequente)**, generalmente impiegata per gli stati limiti di esercizio reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{1,i} \cdot Q_{K,i}$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

**# Combinazione sismica (SLV)**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

**# Combinazione eccezionale (ECC)**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Nelle precedenti relazioni, si è utilizzato il significato dei seguenti simboli:

$G_1$	valore caratteristico delle azioni permanenti;
$G_2$	valore caratteristico delle azioni permanenti non strutturali;
$P$	valore caratteristico dell'azione di pre-tensione o pre-compressione;
$Q_{K1}$	valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
$Q_{K,i}$	valore caratteristico dell'azione variabile $i$ ;
$\gamma_{G1}$	coefficiente parziale per le azioni permanenti;
$\gamma_{G2}$	coefficiente parziale per le azioni permanenti non strutturali;
$\gamma_P$	coefficiente parziale per le azioni di pre-tensione o pre-compressione;
$\gamma_{Q1}$	coefficiente parziale per l'azione variabile di base di ogni combinazione;
$\gamma_{Q,i}$	coefficiente parziale per l'azione variabile $i$ ;
$\psi_{i,i}$	coefficienti di combinazione per i vari stati limite, descritti nella seguente tabella;
+	combinato con.

Con riferimento ai carichi variabili da traffico, si utilizzano i coefficienti di combinazione di cui alla tabella 5.1.VI del D.M. 2018.

Azioni	Effetto del Carico	$\psi_0$ di combinazione	$\psi_1$ frequent	$\psi_2$ quasi permanent
Azioni da traffico	Gruppo 1 - Schema 1 (carichi tandem)	0.75	0.75	0.0
	Gruppo 1 - Schema 1 (carichi distribuiti)	0.4	0.4	0.0
	Gruppo 1 - Schema 2	0.0	0.75	0.0
	Gruppo 2a	0.0	0.0	0.0
	Gruppo 4 (folla)	0.0	0.75	0.0
Azioni del vento	$q_{5,v}$ - Ponte scarico esecuzione	0.8	0.0	0.0
	$q_{5,v}$ - Ponte scarico SLU e SLE	0.6	0.2	0.0
	$q_{5,v}$ - Ponte carico	0.6	0.0	0.0
Azioni termiche	$T_k$	0.6	0.6	0.5

Tabella 5.2 Estratto della tabella 5.1.VI del D.M.2018 relativo ai soli carichi presenti sulle strutture in esame – coefficienti di combinazione delle azioni variabili per ponti stradali e pedonali.

### 5.3.1. AZIONI NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulle strutture del ponte e delle sottostrutture, valutando gli effetti delle combinazioni definite nel paragrafo precedente.

### 5.3.2. STATI LIMITE ULTIMI

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono i seguenti casi:

<b>EQU</b>	stato limite di equilibrio come corpo rigido;
<b>STR</b>	stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
<b>GEO</b>	stato limite di resistenza del terreno.

Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni riportati nella colonna EQU delle seguenti tabelle, mentre per le verifiche strutturali si utilizzeranno i coefficienti della colonna STR.

Tipi di Carico	Effetto del Carico	Coefficiente $\gamma_F$	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
<b>Permanenti</b>	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.1	1.35	1.0
<b>Permanenti non Strutturali</b> <sup>(2)</sup>	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.5	1.5	1.3
<b>Variabili da traffico</b>	Favorevoli	$\gamma_Q$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.35	1.35	1.15
<b>Variabili</b>	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.5	1.5	1.3
<b>Ritiro e Viscosità Cedimenti vincolari</b>	Favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.2	1.2	1.2

(1) equilibrio che non coinvolga parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO;

(2) nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (es.: carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 5.3 Estratto della tabella 5.1.V del D.M.2018 relativo ai soli carichi presenti sulle strutture in esame – coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

Per il ponte in struttura metallica è richiesto il rispetto dello stato limite di fatica; per la definizione delle combinazioni di verifica, si rimanda alla trattazione dettagliata del relativo paragrafo.

### 5.3.3. STATI LIMITE DI ESERCIZIO

#### 5.3.3.1. Stato limite di esercizio per strutture in calcestruzzo armato

Per le strutture in calcestruzzo armato come la soletta di impalcato, il paragrafo 4.1.2.2 del D.M. 2018 prevede le seguenti verifiche generali in esercizio:

- verifiche di deformabilità;
- verifiche di fessurazione/verifiche delle tensioni di esercizio;
- verifiche a fatica per quanto riguarda eventuali danni che possano compromettere la durabilità.

#### 5.3.3.2. Stato limite di esercizio per strutture in acciaio

Per le strutture in acciaio, il paragrafo 4.2.4.2 del D.M. 2018 prevede le seguenti verifiche generali in esercizio:

- verifiche di deformabilità (spostamenti verticali e spostamenti laterali);
- verifiche locali su membrature (deformazioni delle anime, plasticizzazioni locali);
- verifiche di scorrimento dei collegamenti ad attrito.

## 6. MODELLI DI CALCOLO ADOTTATI

Per la valutazione del quadro deformativo e tensionale delle strutture si utilizzano modelli di calcolo agli elementi finiti sviluppati con il software SAP2000v21.

Il ponte è schematizzato come un graticcio di travi modellate mediante elementi "frame" a cui vengono assegnate le proprietà geometriche in funzione della sezione di acciaio, di calcestruzzo o collaborante nelle diverse fasi di calcolo. Per la modellazione dell'impalcato sono stati schematizzati gli elementi principali (travi longitudinali, diaframmi trasversali e elementi soletta) tramite elementi "beam" e su di essi sono stati applicati i carichi di progetto. Dalla risoluzione del sistema, si determinano le caratteristiche di sollecitazione per i vari elementi e la deformazione degli stessi.

Il viadotto in oggetto presenta un impalcato a struttura mista a via superiore. L'impalcato ha un comportamento alla Courbon in quanto la sezione è aperta e non sono presenti controventi inferiori.

Lo schema statico globale è quello di trave continua su 4 appoggi con luci di 60 - 90 - 60 m.

È stata svolta una analisi globale elastica sviluppando il calcolo secondo quanto previsto dalle norme NTC2018, EC4, CNR-UNI 10011 e CNR 10030.

La larghezza di soletta collaborante, necessaria per la determinazione delle caratteristiche geometriche delle sezioni in fase 2 e in fase 3, è stata determinata in accordo al D.M. 17.01.2018.

L'origine del modello numerico è stata assunta in corrispondenza della spalla 1.

I nodi di schema corrispondono a punti caratteristici della struttura quali irrigidenti, giunti e diaframmi.

## 6.1. DISCRETIZZAZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura, analizzata con il metodo degli elementi finiti, è stata discretizzata.

### 6.1.1. NODI

I nodi dell'impalcato, rispetto all'origine degli assi cartesiani, hanno la seguente numerazione:

001 – 075	Trave interna
201 – 275	Trave esterna

I nodi vincolati sono i seguenti:

001 – 201	Spalla 1
022 – 222	Pila 1
054 – 254	Pila 2
075 – 275	Spalla 2

Per i modelli soggetti unicamente a carico verticale i nodi vincolati presentano un vincolo verticale infinitamente rigido e molle orizzontali che simulano la rigidità in esercizio degli isolatori. Per i modelli di calcolo soggetti alle azioni orizzontali di esercizio come vento, sisma e forza centrifuga, lo schema statico degli isolatori è stato riprodotto fedelmente con molle orizzontali che simulano la rigidità in esercizio degli isolatori.

## 6.1.2. ELEMENTI

Gli elementi della struttura sono i seguenti:

### Travi principali

001 – ... – 074	Trave interna
201 – ... – 274	Trave esterna

### Diaframmi intermedi, di pila e di spalla

1001 – 2001	Diaframma di spalla 1
1003 – 2003	Diaframma intermedio
1006 – 2006	Diaframma intermedio
1009 – 2009	Diaframma intermedio
1011 – 2011	Diaframma intermedio
1014 – 2014	Diaframma intermedio
1017 – 2017	Diaframma intermedio
1019 – 2019	Diaframma intermedio
1022 – 2022	Diaframma di pila 1
1025 – 2025	Diaframma intermedio
1027 – 2027	Diaframma intermedio
1030 – 2030	Diaframma intermedio
1033 – 2033	Diaframma intermedio
1035 – 2035	Diaframma intermedio
1038 – 2038	Diaframma intermedio
1041 – 2041	Diaframma intermedio
1043 – 2043	Diaframma intermedio
1046 – 2046	Diaframma intermedio
1049 – 2049	Diaframma intermedio
1051 – 2051	Diaframma intermedio
1054 – 2054	Diaframma di pila 2
1057 – 2057	Diaframma intermedio
1059 – 2059	Diaframma intermedio
1062 – 2062	Diaframma intermedio
1065 – 2065	Diaframma intermedio
1067 – 2067	Diaframma intermedio
1070 – 2070	Diaframma intermedio
1073 – 2073	Diaframma intermedio
1075 – 2075	Diaframma di spalla 2

PROGETTAZIONE ATI:

Elementi soletta

Completano il modello di calcolo gli elementi:

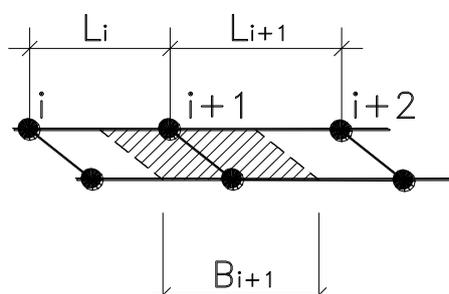
10001 – 20001	Elementi soletta
10002 – 20002	Elementi soletta
10003 – 20003	Elementi soletta
10005 – 20005	Elementi soletta
10006 – 20006	Elementi soletta
10007 – 20007	Elementi soletta
10009 – 20009	Elementi soletta
10010 – 20010	Elementi soletta
10011 – 20011	Elementi soletta
10013 – 20013	Elementi soletta
10014 – 20014	Elementi soletta
10015 – 20015	Elementi soletta
10017 – 20017	Elementi soletta
10018 – 20018	Elementi soletta
10019 – 20019	Elementi soletta
10021 – 20021	Elementi soletta
10022 – 20022	Elementi soletta
10023 – 20023	Elementi soletta
10025 – 20025	Elementi soletta
10026 – 20026	Elementi soletta
10027 – 20027	Elementi soletta
10029 – 20029	Elementi soletta
10030 – 2003	Elementi soletta
10031 – 20031	Elementi soletta
10033 – 20033	Elementi soletta
10034 – 20034	Elementi soletta
10035 – 20035	Elementi soletta
10037 – 20037	Elementi soletta
10038 – 20038	Elementi soletta
10039 – 20039	Elementi soletta
10041 – 20041	Elementi soletta
10042 – 20042	Elementi soletta
10043 – 20043	Elementi soletta
10045 – 20045	Elementi soletta
10046 – 20046	Elementi soletta
10047 – 20047	Elementi soletta
10049 – 20049	Elementi soletta
10050 – 20050	Elementi soletta
10051 – 20051	Elementi soletta
10053 – 20053	Elementi soletta
10054 – 20054	Elementi soletta
10055 – 20055	Elementi soletta
10057 – 20057	Elementi soletta
10058 – 20058	Elementi soletta
10059 – 20059	Elementi soletta
10061 – 20061	Elementi soletta
10062 – 20062	Elementi soletta
10063 – 20063	Elementi soletta

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

10065 – 20065	Elementi soletta
10066 – 20066	Elementi soletta
10067 – 20067	Elementi soletta
10069 – 20069	Elementi soletta
10070 – 20070	Elementi soletta
10071 – 20071	Elementi soletta
10073 – 20073	Elementi soletta
10074 – 20074	Elementi soletta
10075 – 20075	Elementi soletta

Gli elementi soletta sono resi attivi solo per le fasi successive al getto della soletta, quindi in fase 2 e in fase 3. Le caratteristiche inerziali dei suddetti elementi sono state calcolate in funzione dell'interasse dei nodi, come rappresentato sinteticamente nel disegno sotto riportato:



PROGETTAZIONE ATI:

## 6.2. MODELLO DI CALCOLO AGLI ELEMENTI FINITI

Nel seguito si riportano le immagini relative al graticcio di nodi e elementi che costituiscono il modello di analisi e calcolo delle sollecitazioni; si riportano le immagini relative al modello nella sua globalità e le immagini relative alla numerazione di nodi e aste.

### 6.2.1. MODELLO COMPLETO

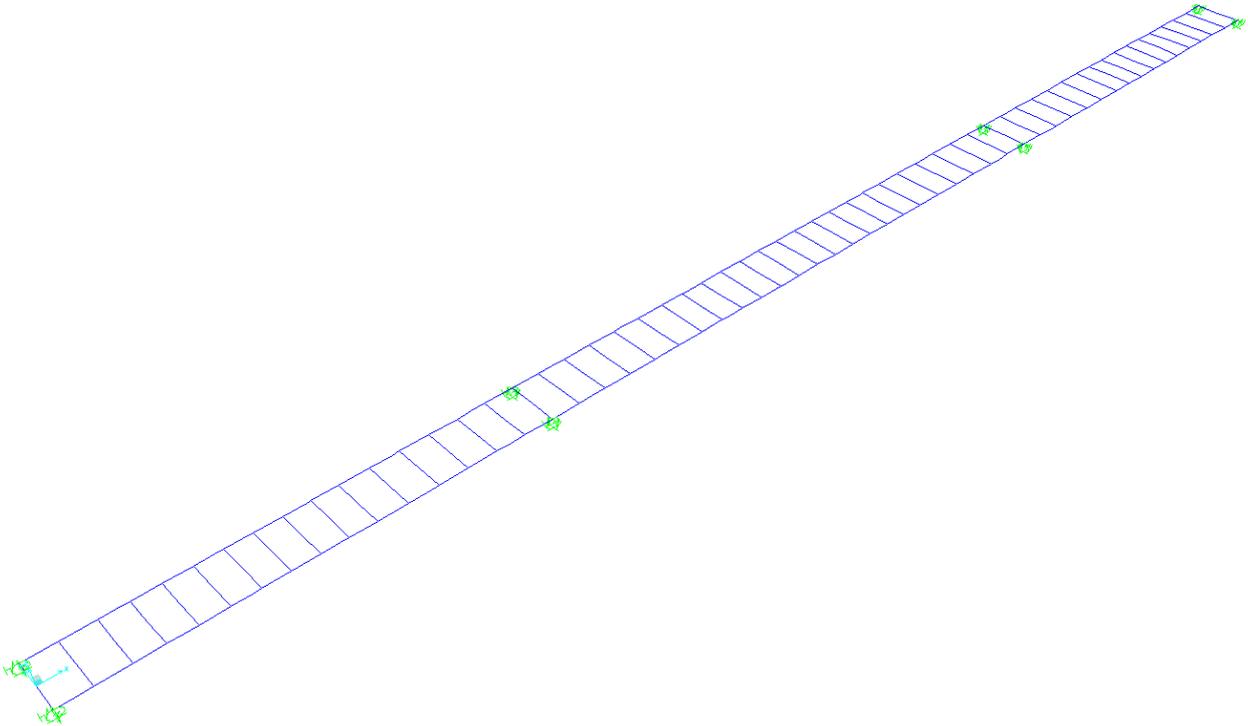
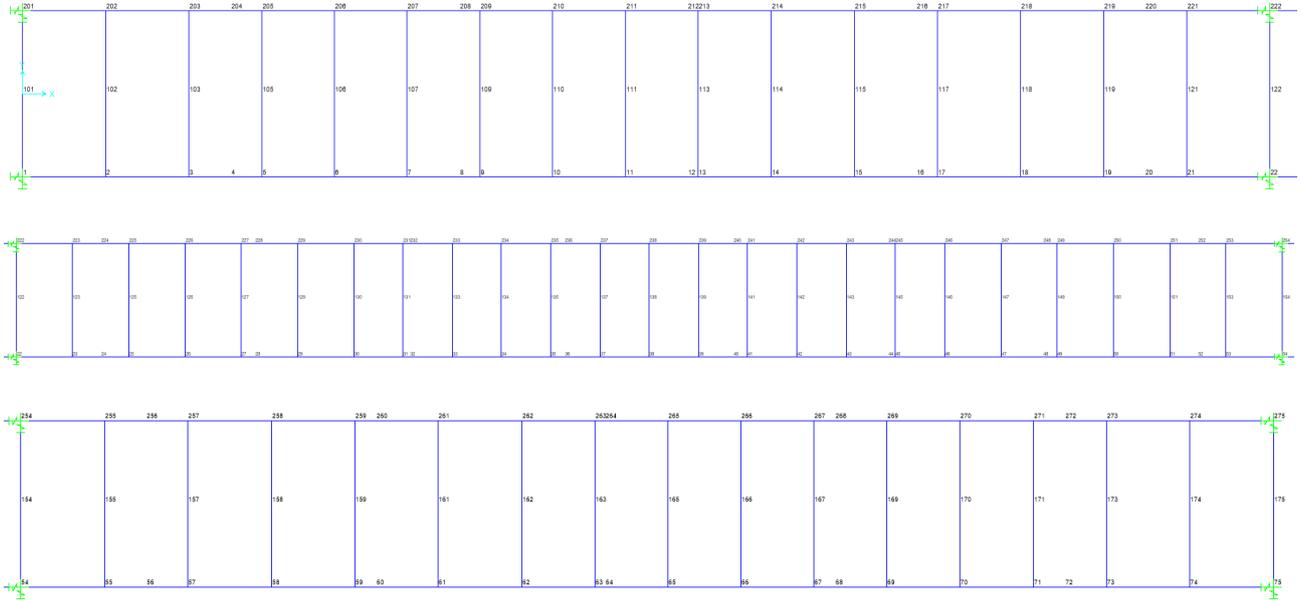


Figura 6.1 Modello 3D.

PROGETTAZIONE ATI:

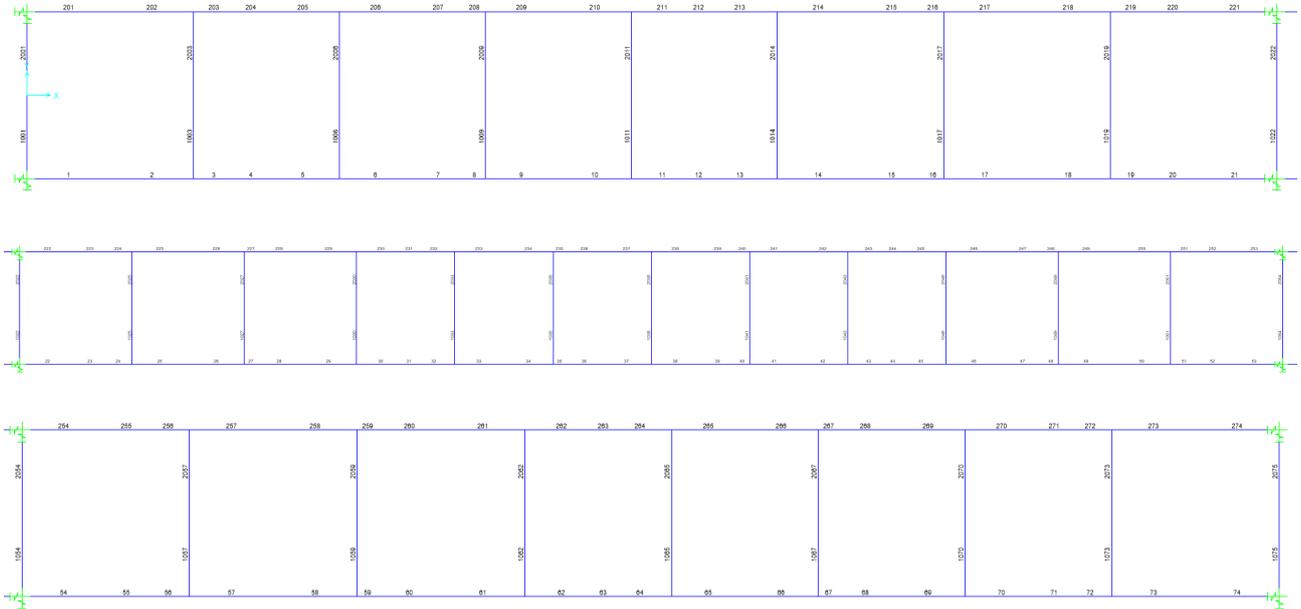
**6.2.2. NODI**



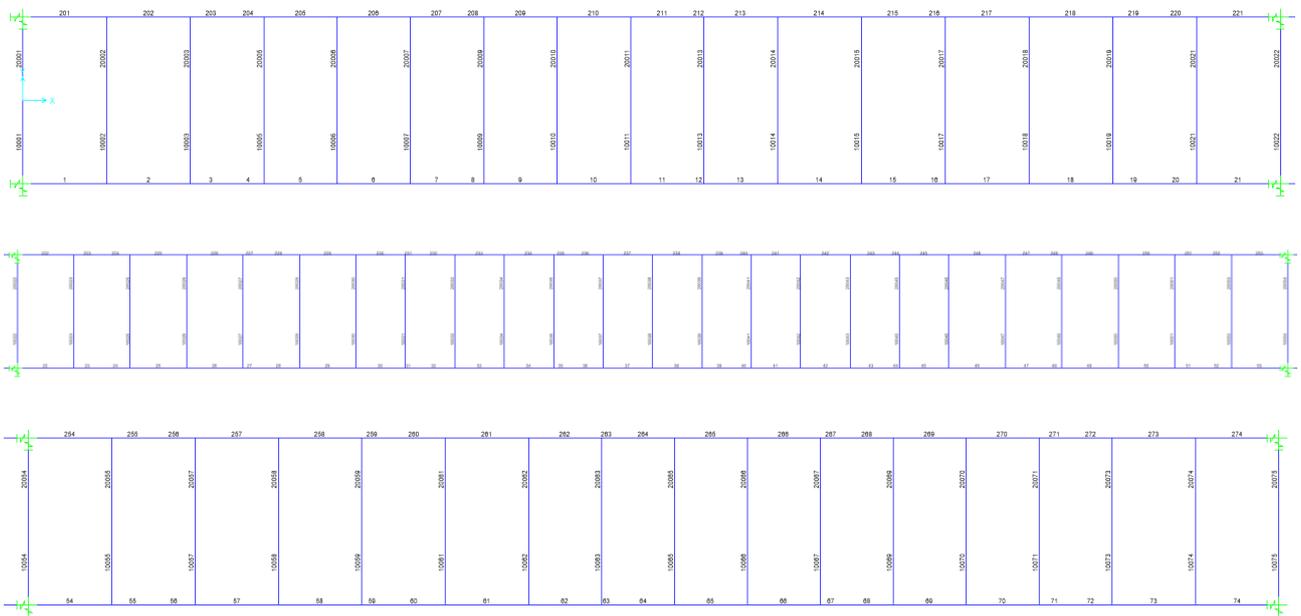
**Figura 6.2 nodi**

PROGETTAZIONE ATI:

**6.2.3. ELEMENTI TRAVI, DIAFRAMMI E ELEMENTI SOLETTA**



**Figura 6.3 Travi principali e diaframmi metallici**



**Figura 6.4 Travi principali e elementi soletta.**

PROGETTAZIONE ATI:

#### 6.2.4. CARICHI APPLICATI AL MODELLO

Si riportano come esempio alcuni caricamenti dei modelli globali

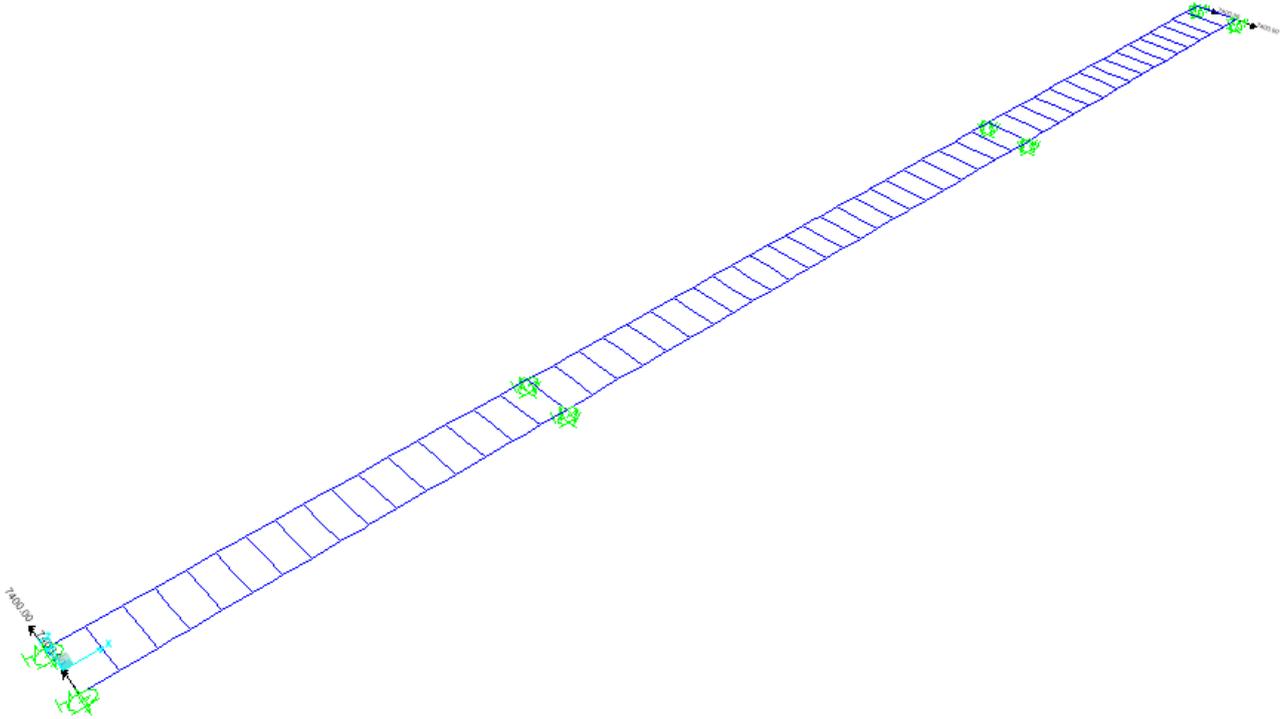


Figura 6.5 Ritiro

PROGETTAZIONE ATI:

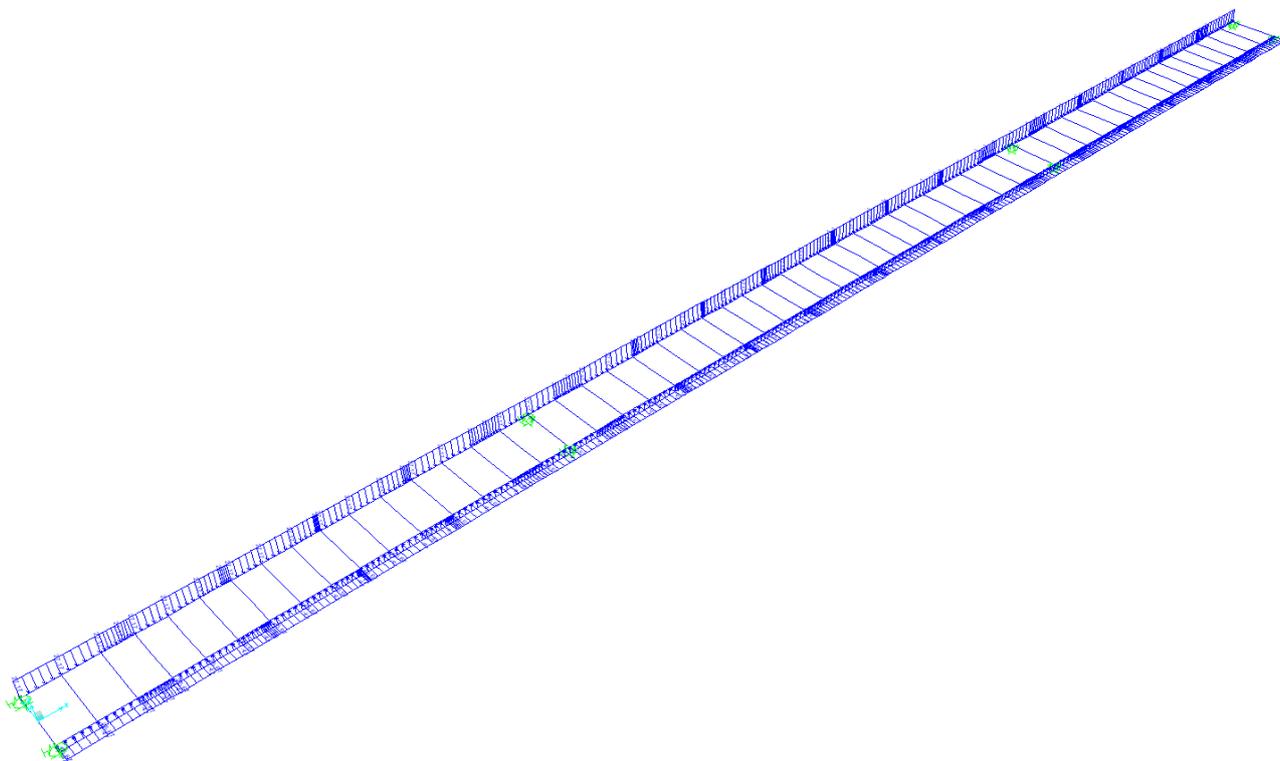


Figura 6.6 Vento

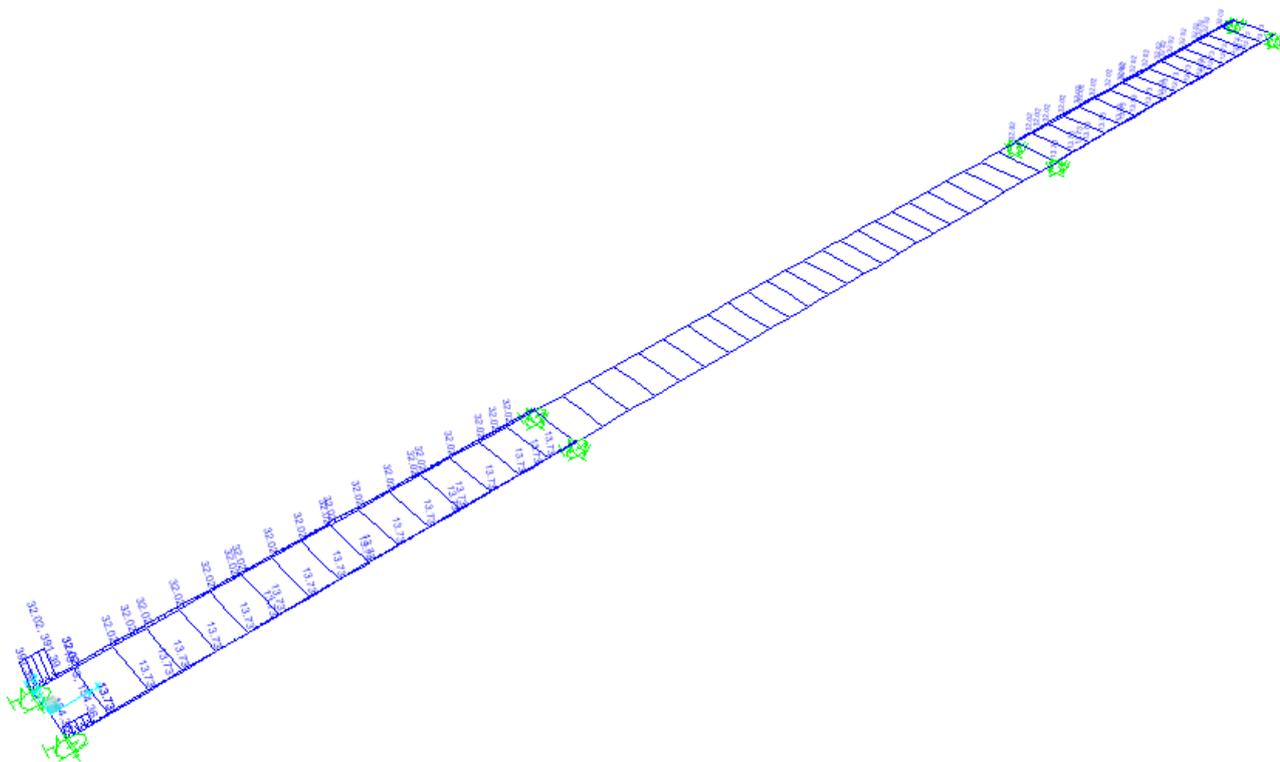


Figura 6.7 Traffico – Mext\_1\_M01 01 [kN/m]

PROGETTAZIONE ATI:

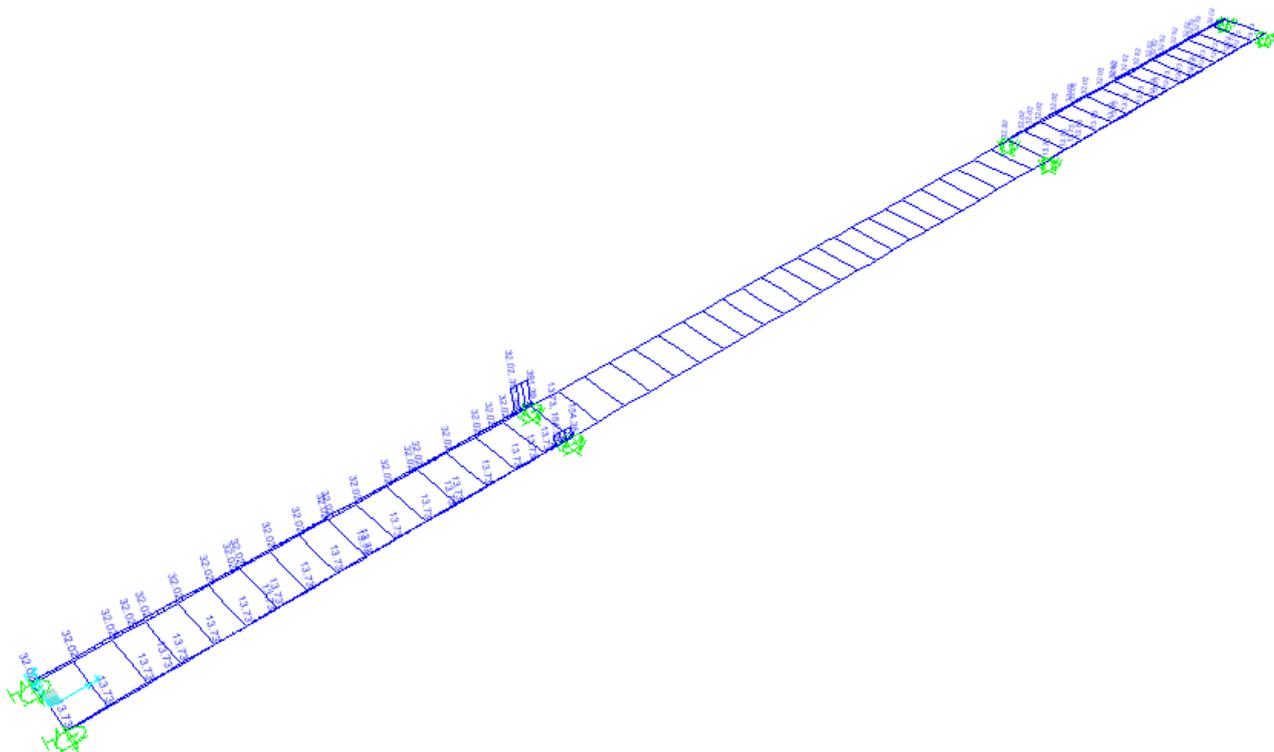


Figura 6.8 Traffico – Mext\_1\_M01-30 [kN/m]

PROGETTAZIONE ATI:

### 6.3. CARATTERISTICHE STATICHE DELLE SEZIONI

#### 6.3.1. LARGHEZZE COLLABORANTI

Le due travi principali sono poste a interasse pari a 8.0 m e gli sbalzi laterali hanno luci pari a 2.00 m. Il calcolo delle larghezze di soletta collaboranti con la trave metallica viene effettuato secondo le indicazioni del paragrafo 4.3.2.3 del D.M. 17.01.2018; più nel dettaglio la simbologia utilizzata nel presente paragrafo fa riferimento alle geometrie indicate nelle seguenti figure:

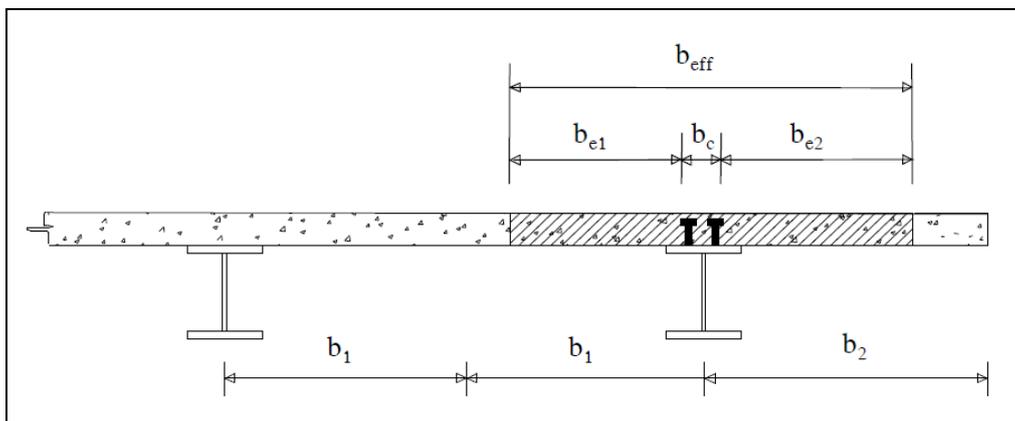


Figura 6.9 Definizione delle larghezze efficaci beff.

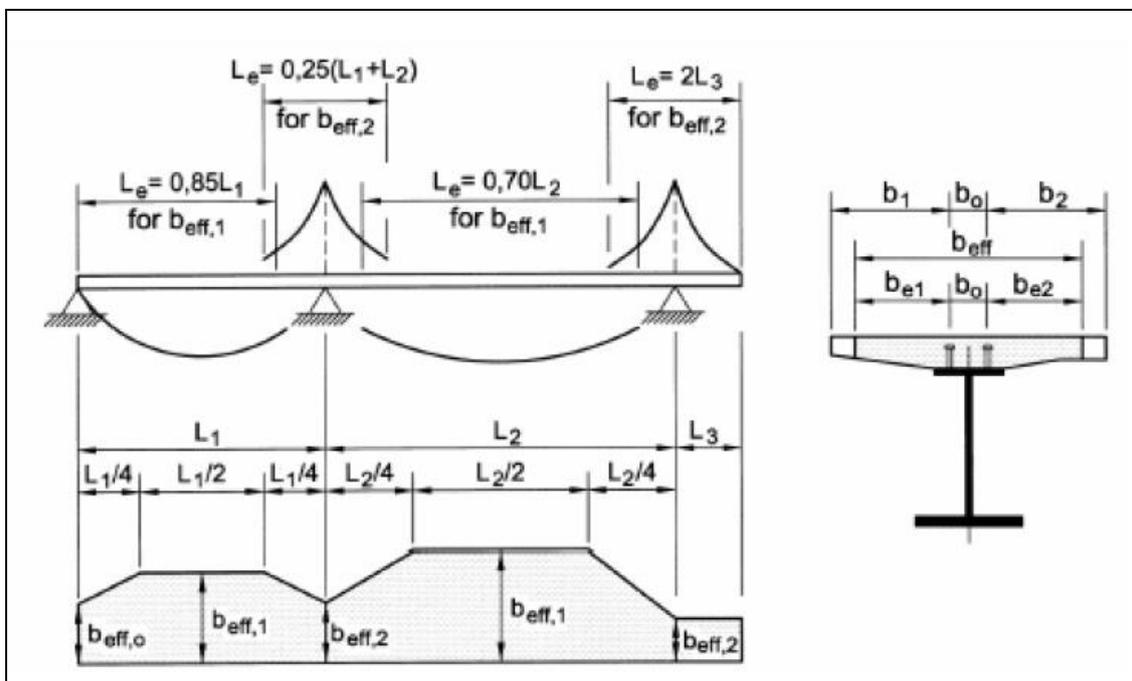


Figura 6.10 Larghezze efficaci beff e luci equivalenti Le per travi continue

PROGETTAZIONE ATI:

**Campata di riva (SP1-P1)**

numero di travi	2		
L1 =	6000 cm		
Le = 0.85 x L1 =	5100 cm	Le / 8 ≈	637 cm
i =	800 cm	(interasse travi longitudinali)	trave esterna
Btot =	1200 cm		
b0 =	0 cm		
be1 = min( Le/8; b1 ) =	400 cm		
be2 = min( Le/8; b2 ) =	200 cm		

*Conci in campata*

Alla luce di ciò ai conci in campata di riva (C2,C3,C4,C5) verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 3)       $B_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2} =$       600 cm

*Conci di riva*

Per gli appoggi di estremità la larghezza collaborante diventa:

$$b_{eff} = \beta_1 \cdot b_{e1} + \beta_2 \cdot b_{e2}$$

dove:

$$b_{ei} = \min( L_e/8; b_i )$$

$$\beta_i = [0.55 + 0.025 L_e / b_{ei}]$$

Per il caso in esame:

$$\beta_1 = 0.87 < 1$$

$$\beta_2 = 1.00 < 1$$

Alla luce di ciò al concio C1 verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 3)       $B_{eff} = b_0 + \beta_1 \cdot b_{e1} + \beta_2 \cdot b_{e2} =$       550 cm

**Pila 1**

numero di travi	2			
L <sub>1</sub> =	6000 cm			
L <sub>2</sub> =	9000 cm			
L <sub>e</sub> = 0.25 x (L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> ) =	3750 cm	Le / 8 ≈	468 cm	
i =	800 cm	(interasse travi longitudinali)		trave esterna
B <sub>tot</sub> =	1200 cm			
b <sub>0</sub> =	0 cm			
b <sub>e1</sub> = min( L <sub>e</sub> /8;b <sub>1</sub> ) =	400 cm			
b <sub>e2</sub> = min( L <sub>e</sub> /8; b <sub>2</sub> ) =	200 cm			

Alla luce di ciò ai conci di pila (C4) verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 4)      B<sub>eff</sub> = b<sub>0</sub>+b<sub>e1</sub>+b<sub>e2</sub> =      600 cm

**Pila 2**

numero di travi	2			
L <sub>1</sub> =	6000 cm			
L <sub>2</sub> =	9000 cm			
L <sub>e</sub> = 0.25 x (L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> ) =	3750 cm	Le / 8 ≈	468 cm	
i =	800 cm	(interasse travi longitudinali)		trave esterna
B <sub>tot</sub> =	1200 cm			
b <sub>0</sub> =	0 cm			
b <sub>e1</sub> = min( L <sub>e</sub> /8;b <sub>1</sub> ) =	400 cm			
b <sub>e2</sub> = min( L <sub>e</sub> /8; b <sub>2</sub> ) =	200 cm			

Alla luce di ciò ai conci di pila (C8) verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 2)      B<sub>eff</sub> = b<sub>0</sub>+b<sub>e1</sub>+b<sub>e2</sub> =      600 cm

**Campata P1-P2**

numero di travi	2			
$L_2 =$	9000 cm			
$L_e = 0.70 \times L_2 =$	6300 cm	$L_e / 8 \approx$	787 cm	
$i =$	800 cm	(interasse travi longitudinali)		trave esterna
$B_{tot} =$	1200 cm			
$b_0 =$	0 cm			
$b_{e1} = \min(L_e/8; b_1) =$	400 cm			
$b_{e2} = \min(L_e/8; b_2) =$	200 cm			

Alla luce di ciò ai conci in campata centrale (C5, C6, C7, C9, C10, C11) verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 2)       $B_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2} =$       600 cm

### 6.3.2. ASSEGNAZIONE DELLE SEZIONI AGLI ELEMENTI DI ANALISI

Per la disposizione dei conci sullo sviluppo longitudinale delle travate si faccia riferimento agli elaborati grafici di progetto a corredo del presente documento di calcolo.

Si riporta di seguito la corrispondenza fra le sezioni di analisi e le assegnazioni delle stesse ai diversi elementi del modello di calcolo.

<b>Sezione di analisi</b>	<b>Concio di analisi</b>	<b>Aste modello</b>	<b>Sezione di analisi</b>	<b>Concio di analisi</b>	<b>Aste modello</b>
001	C1	001 – 003 201 – 203	011	C 11	040 – 043 240 – 243
002	C2	004 – 007 204 – 207	012	C12	044 – 047 244 – 247
003	C3	008 – 011 208 – 211	013	C13	048 – 051 248 – 251
004	C4	012 – 015 212 – 215	014A	C14	052 – 053 252 – 253
005	C 5	016 – 019 216 – 219	014B	C14	054 – 055 254 – 255
006A	C 6	020 – 021 220 – 221	015	C 15	056 – 059 256 – 259
006B	C 6	022 – 023 222 – 223	016	C 16	060 – 063 260 – 263
007	C 7	024 – 027 224 – 227	017	C 17	064 – 067 264 – 267
008	C 8	028 – 031 228 – 231	018	C 18	068 – 071 268 – 271
009	C 9	032 – 035 232 – 235	019	C 19	072 – 074 272 – 274
010	C 10	036 – 039 236 – 239			

Tabella 6.1 Riferimento sezioni di analisi

### 6.3.3. CARATTERISTICHE STATICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI

#### Fessurazione soletta

La soletta è considerata fessurata sul concio di pila.

#### Inerzia torsionale

Il ponte ha sezione trasversale "aperta", con comportamento alla Courbon; quindi ciascuna trave è dotata dell'inerzia torsionale della corrispondente sezione mista.

Di seguito si riportano, per tutte le sezioni utilizzate nel modello di calcolo, le caratteristiche statiche calcolate in ciascuna delle fasi di carico esaminate in precedenza.

PROGETTAZIONE ATI:

**CONCIO 1 (Fili 001, 201)**

**Sezione T1N001I T1N001I**

**Caratteristiche generali**

**Dati principali**

Altezza della sezione di acciaio	2750 mm
Piattabanda superiore	600x30 mm
Piattabanda inferiore	1000x50 mm
Anima	20x2670 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5500x240 mm
Raccordo	600x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 20/m

**Irrigidenti verticali**

Interasse	4000 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	250x18 mm
Piatto 2	---

**Irrigidenti longitudinali dell'anima**

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1000 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	0 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 200x15 mm, verticali 0x0 mm

**Caratteristiche geometriche lorde**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	1.214E+	2.12E+	2.12E+	2.12E+	3.44E+	1.325E+
z <sub>G</sub> (mm)	1025.03	1824.89	1824.89	1824.89	2237.50	1179.47
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.413E+1	3.235E+1	3.235E+1	3.235E+1	4.182E+1	1.761E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.378E+	-1.773E+	-1.773E+	-1.773E+	-1.869E+	-1.493E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.449E+	-1.823E+	-1.823E+	-1.823E+	-1.912E+	-1.559E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.336E+	3.615E+	3.615E+	3.615E+	8.668E+	1.143E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.191E+	3.497E+	3.497E+	3.497E+	8.16E+	1.121E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.388E+	3.388E+	3.388E+	7.709E+	1.1E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.388E+	3.388E+	3.388E+	7.709E+	1.1E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	2.825E+	2.825E+	2.825E+	5.709E+	9.834E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	2.707E+	2.707E+	2.707E+	5.345E+	9.567E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	5E+	8.999E+	8.999E+	8.999E+	1.106E+	5.772E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.951E+	1.215E+	1.215E+	1.215E+	1.585E+	7.048E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.078E+	1.135E+	1.135E+	1.135E+	1.561E+	4.675E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	9.71E+	9.71E+	9.71E+	1.472E+	1.875E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

**Pre-classificazione**

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

**Caratteristiche plastiche dei singoli componenti**

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	5.122E+	2995.2	302	2970.
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	1.956E+	287	2969.	2780.
Strato di calcestruzzo inferiore	-5.201E+	2779.7	2779.	278
Strato di armatura superiore	2.164E+	297	2970.	2969.
Strato di armatura inferiore	2.164E+	278	2780.	2779.
Raccordo in cls	0E+0	276	278	275

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Flangia superiore della trave di acciaio	6.086E+	273	275	272
Anima della trave di acciaio	1.805E+	138	272	5
Flangia inferiore della trave di acciaio	1.595E+	2	5	
Compressione ultima per la sezione completa	-6.905E+			
Trazione ultima per la sezione completa	4.442E+			
Compressione ultima per la sezione senza anima	-5.099E+			
Trazione ultima per la sezione senza anima	2.637E+			

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\varepsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.667	0.814	1	0
Flangia inferiore	9.8	0.838	3	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\varepsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	133.5	0.814	0.347	-1.364	3
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	133.5	0.814	0	-0.221	1
Compressione semplice (N)	133.5	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

**CONCIO 3 (Fili 001, 201)**

**Sezione T1N009I T1N009I**

**Caratteristiche generali**

**Dati principali**

Altezza della sezione di acciaio	3116 mm
Piattabanda superiore	600x30 mm
Piattabanda inferiore	1000x60 mm
Anima	18x3026 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6000x240 mm
Raccordo	600x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

**Irrigidenti verticali**

Interasse	3500 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	250x18 mm
Piatto 2	---

**Irrigidenti longitudinali dell'anima**

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1000 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2900 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 200x15 mm, verticali 0x0 mm

**Caratteristiche geometriche lorde**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	1.325E+	2.313E+	2.313E+	2.313E+	3.753E+	1.445E+
z <sub>G</sub> (mm)	1081.74	2013.63	2013.63	2013.63	2494.2	1261.9
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.945E+1	4.643E+1	4.643E+1	4.643E+1	6.042E+1	2.461E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.798E+	-2.306E+	-2.306E+	-2.306E+	-2.422E+	-1.951E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.904E+	-2.377E+	-2.377E+	-2.377E+	-2.482E+	-2.048E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.704E+	4.33E+	4.33E+	4.33E+	1.021E+	1.349E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.561E+	4.212E+	4.212E+	4.212E+	9.717E+	1.328E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.1E+	4.1E+	4.1E+	9.27E+	1.307E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.1E+	4.1E+	4.1E+	9.27E+	1.307E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.511E+	3.511E+	3.511E+	7.177E+	1.187E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.383E+	3.383E+	3.383E+	6.775E+	1.159E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.31E+	1.19E+	1.19E+	1.19E+	1.479E+	7.392E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.25E+	1.534E+	1.534E+	1.534E+	2.012E+	8.692E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.635E+	1.43E+	1.43E+	1.43E+	1.98E+	5.698E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	1.234E+	1.234E+	1.234E+	1.871E+	2.387E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

**Pre-classificazione**

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

**Caratteristiche plastiche dei singoli componenti**

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	5.587E+	3361.2	338	3336.
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.133E+	324	3335.	3146.
Strato di calcestruzzo inferiore	-5.674E+	3145.7	3145.	314
Strato di armatura superiore	2.36E+	333	3336.	3335.
Strato di armatura inferiore	2.36E+	314	3146.	3145.
Raccordo in cls	0E+0	313	314	311

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Flangia superiore della trave di acciaio	6.086E+	310	311	308
Anima della trave di acciaio	1.842E+	157	308	6
Flangia inferiore della trave di acciaio	1.914E+	3	6	
Compressione ultima per la sezione completa	-7.523E+			
Trazione ultima per la sezione completa	4.836E+			
Compressione ultima per la sezione senza anima	-5.681E+			
Trazione ultima per la sezione senza anima	2.995E+			

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\varepsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.7	0.814	1	0
Flangia inferiore	8.183	0.838	2	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\varepsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	168.111	0.814	0.274	-1.518	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	168.111	0.814	0	-0.243	1
Compressione semplice (N)	168.111	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

**CONCIO 6 (Fili 001, 201)**

**Sezione T1N022I T1N022I**

**Caratteristiche generali**

**Dati principali**

Altezza della sezione di acciaio	5250 mm
Piattabanda superiore	1200x60 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	27x5100 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6000x240 mm
Raccordo	1200x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 20/m

**Irrigidenti verticali**

Interasse	4000 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x24 mm
Piatto 2	---

**Irrigidenti longitudinali dell'anima**

distanza estradosso trave-irrigidente 1	2900 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	4200 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 250x20 mm, verticali 0x0 mm

**Caratteristiche geometriche lorde**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	3.132E+	4.376E+	4.376E+	4.376E+	5.817E+	3.509E+
z <sub>G</sub> (mm)	2375.5	3233.41	3233.41	3233.41	3769.86	2697.80
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.453E+1	2.264E+1	2.264E+1	2.264E+1	2.774E+1	1.756E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-6.116E+	-7.003E+	-7.003E+	-7.003E+	-7.357E+	-6.509E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-6.357E+	-7.203E+	-7.203E+	-7.203E+	-7.537E+	-6.733E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.162E+	1.157E+	1.157E+	1.157E+	1.953E+	7.046E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.055E+	1.123E+	1.123E+	1.123E+	1.874E+	6.88E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.106E+	1.106E+	1.106E+	1.837E+	6.8E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.106E+	1.106E+	1.106E+	1.837E+	6.8E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.012E+	1.012E+	1.012E+	1.631E+	6.334E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	9.902E+	9.902E+	9.902E+	1.585E+	6.222E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.412E+	3.3E+	3.3E+	3.3E+	3.855E+	2.746E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.117E+	4.634E+	4.634E+	4.634E+	5.683E+	3.664E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.048E+	4.117E+	4.117E+	4.117E+	5.411E+	2.825E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	2.687E+	2.687E+	2.687E+	4.367E+	1.009E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

**Pre-classificazione**

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

**Caratteristiche plastiche dei singoli componenti**

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	5.467E+	5495.7	552	5471.5
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.109E+	537	5468.4	5281.5
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.773E+	5279.2	5278.4	528
Strato di armatura superiore	7.376E+	547	5471.5	5468.4
Strato di armatura inferiore	7.376E+	528	5281.5	5278.4
Raccordo in cls	0E+0	526	528	525

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Flangia superiore della trave di acciaio	2.297E+	522	525	519
Anima della trave di acciaio	4.656E+	264	519	9
Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.437E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	1.173E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-9.713E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	7.074E+			

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\varepsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.775	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.239	0.838	1	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\varepsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	188.889	0.814	0.55	-0.956	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	188.889	0.814	0.166	-0.386	2
Compressione semplice (N)	188.889	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

**CONCIO 10 (Fili 001, 201)**

**Sezione T1N038I T1N038I**

**Caratteristiche generali**

**Dati principali**

Altezza della sezione di acciaio	2750 mm
Piattabanda superiore	800x40 mm
Piattabanda inferiore	1150x110 mm
Anima	20x2600 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6000x240 mm
Raccordo	800x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

**Irrigidenti verticali**

Interasse	3500 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	250x18 mm
Piatto 2	---

**Irrigidenti longitudinali dell'anima**

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1000 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	0 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 200x15 mm, verticali 0x0 mm

**Caratteristiche geometriche lorde**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	2.105E+	3.093E+	3.093E+	3.093E+	4.533E+	2.226E+
z <sub>G</sub> (mm)	796.37	1467.41	1467.41	1467.41	1922.54	909.04
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	2.382E+1	5.354E+1	5.354E+1	5.354E+1	7.378E+1	2.876E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-2.991E+	-3.649E+	-3.649E+	-3.649E+	-3.838E+	-3.164E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.47E+	-3.944E+	-3.944E+	-3.944E+	-4.07E+	-3.599E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.245E+	4.309E+	4.309E+	4.309E+	9.369E+	1.597E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.219E+	4.175E+	4.175E+	4.175E+	8.916E+	1.562E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.079E+	4.079E+	4.079E+	8.604E+	1.537E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.079E+	4.079E+	4.079E+	8.604E+	1.537E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.563E+	3.563E+	3.563E+	7.044E+	1.395E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.449E+	3.449E+	3.449E+	6.723E+	1.362E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.378E+	1.787E+	1.787E+	1.787E+	2.362E+	1.08E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.85E+	1.971E+	1.971E+	1.971E+	2.691E+	1.144E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.188E+	1.817E+	1.817E+	1.817E+	2.629E+	8.199E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	1.413E+	1.413E+	1.413E+	2.371E+	2.372E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

**Pre-classificazione**

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

**Caratteristiche plastiche dei singoli componenti**

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	5.587E+	2995.2	302	2970.
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.133E+	287	2969.	2780.
Strato di calcestruzzo inferiore	-5.674E+	2779.7	2779.	278
Strato di armatura superiore	2.36E+	297	2970.	2969.
Strato di armatura inferiore	2.36E+	278	2780.	2779.
Raccordo in cls	0E+0	276	278	275

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Flangia superiore della trave di acciaio	1.082E+	273	275	271
Anima della trave di acciaio	1.758E+	141	271	11
Flangia inferiore della trave di acciaio	4.036E+	5	11	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.003E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	7.348E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-8.276E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	5.59E+			

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\varepsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.75	0.814	1	0
Flangia inferiore	5.136	0.838	1	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\varepsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	130	0.814	0	-2.254	1
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	130	0.814	0.442	-0.434	4
Compressione semplice (N)	130	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

### 6.3.4. INERZIE DEI DIAFRAMMI

I diaframmi di spalla sono costituiti da profili ad anima piena composti saldati, mentre i diaframmi di pila e intermedi hanno struttura reticolare. Entrambi non sono collaboranti con la soletta di impalcato, di conseguenza le caratteristiche geometriche sono quelle della sola sezione metallica costituente il profilo.

Rigidezze flessionali		
Elemento	Tipologia	I [cm <sup>4</sup> ]
Diaframma di spalla	Profilo ad anima piena	3940100
Diaframma di pila	Reticolare	14360000
Diaframma intermedio 1	Reticolare	2689500
Diaframma intermedio 2	Reticolare	5271300

### 6.3.5. ELEMENTI SOLETTA

Le rigidezze flessionali degli elementi soletta schematizzano la rigidezza trasversale della soletta in calcestruzzo armato (quella longitudinale è già computata nelle caratteristiche statiche delle sezioni miste delle travi). Il calcolo delle proprietà statiche viene effettuato direttamente dal programma di calcolo ipotizzando una sezione trasversale tipica pari a circa 400 x 27 cm e un materiale con le proprietà meccaniche corrispondenti al calcestruzzo nelle diverse fasi. Secondo prassi usuale e bibliografia consolidata (vedi anche "Progettazione e costruzione di ponti" – Petrangeli – par. 6.4.4) alla sola inerzia torsionale calcolata in automatico viene applicato un fattore riduttivo pari a 0.5 per tenere conto della formula di calcolo di tale inerzia secondo bibliografia.

ELEMENTI SOLETTA					
Dimensioni soletta			Fase 2		Fase 3
b (cm)	400		J (cm <sup>4</sup> )	79048	210288
h (cm)	27		I <sub>3</sub> (cm <sup>4</sup> )	8674699	23076923
Coeff. Omogeneizzazione					
n Fase 2	16.6		I <sub>2</sub> (cm <sup>4</sup> )	39524	105144
n Fase 3	6.24		A <sub>S</sub> (cm <sup>2</sup> )	651	1731
I <sub>3</sub> inerzia orizzontale; I <sub>2</sub> inerzia verticale					

## 6.4. ANALISI GLOBALE E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

L'analisi statica del viadotto in oggetto è stata eseguita impiegando il metodo elastico con i file di analisi illustrati nei precedenti capitoli. Per effettuare le verifiche di resistenza e stabilità su ciascuno degli elementi dell'impalcato, i file di output dell'analisi (file \*.xlsx ottenuti attraverso l'esportazione dei risultati direttamente da SAP2000 v22) vengono rielaborati con un processo automatico di involuppo che consente di ricavare per ciascun elemento in ciascuna fase di carico la caratteristica di sollecitazione massima/minima presa in esame e le restanti sollecitazioni congruenti. Si ottiene per ciascuna asta un report contenente tutte le informazioni relative alle sollecitazioni successivamente utilizzate per le verifiche che verranno svolte per le travi principali dell'impalcato e per gli altri elementi.

## 6.5. MASSIME AZIONI INTERNE

### 6.5.1. SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Data la tipologia usuale di impalcato a travata le sollecitazioni che saranno massimizzate sono quelle di taglio e momento flettente verticale; i files contenenti l'involuppo completo delle sollecitazioni elementari combinate saranno denominati:

- a) **R\_SLU\_M33.xlsx** Stato Limite Ultimo - max momento flettente verticale
- b) **R\_SLU\_V2.xlsx** Stato Limite Ultimo - max taglio verticale

I file completi contenenti tutti gli involuppi delle sollecitazioni per tutti gli elementi del modello sono riportati sotto formato elettronico negli allegati di calcolo alla presente relazione. Per ciascuna fase di carico vengono estrapolati i massimi e minimi della sollecitazione indicizzata fornendo per ogni singolo frame del modello e per ogni output station le sollecitazioni congruenti.

Le fasi di carico elaborate e combinate dall'involuppatore, partendo dai singoli file di output del SAP2000, sono così suddivise:

- fase 1: solo trave metallica resistente (assenza di collaborazione con la soletta);
- fase 2: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati a istante successivo al getto, e di intensità costante nel tempo (es. permanenti di finitura, cedimenti);
- ritiro: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati all'istante immediatamente dopo il getto, e aventi sviluppo nel tempo parallelo a quello dei fenomeni differiti (ritiro);
- termica: presenza della soletta, con modulo elastico a breve termine, valutato per le variazioni termiche differenziali sulla sezione mista acciaio-clt.
- fase 3: presenza della soletta, con modulo elastico valutato a breve termine, per tutte le azioni accidentali legate a traffico, vento e eventualmente sisma.

In fase di verifica con Ponti EC4, per esigenze computazionali, le fasi di carico saranno riorganizzate secondo la seguente legenda:

- fase 1: uguale alla fase 1 dell'involuppo;
- fase 2a: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati a istante successivo al getto, e di intensità costante nel tempo (es. permanenti di finitura);
- fase 2b: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati all'istante immediatamente dopo il getto, e aventi sviluppo nel tempo parallelo a quello dei fenomeni differiti (ritiro);
- fase 2c: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per coazioni o cedimenti vincolari imposti a un certo istante al getto, e aventi sviluppo nel tempo costante.
- fase 3: presenza della soletta, con modulo elastico valutato a breve termine, utilizzata per le variazioni termiche differenziali e per tutte le azioni accidentali legate a traffico, vento e eventualmente sisma.

Gli involuppi vengono poi ripetuti anche per le combinazioni di carico per gli stati limite di esercizio (rara e frequente) da utilizzare per le verifiche tensionali e di respiro delle anime previste dall'EC3-EC4 e per la fatica (vedere appositi paragrafi per la descrizione delle condizioni di carico involuppate). L'elenco degli involuppi è il seguente:

- |    |                            |   |
|----|----------------------------|---|
| c) | <b>R_SLE_rara_M33.xlsx</b> | Stato Limite di Esercizio – comb. Rara - max momento flettente verticale  |
| d) | <b>R_SLE_rara_V2.xlsx</b>  | Stato Limite di Esercizio – comb. Rara - max taglio verticale             |
| e) | <b>R_SLE_freq_M33.xlsx</b> | Stato Limite di Esercizio – comb. Freq. - max momento flettente verticale |
| f) | <b>R_SLE_freq_V2.xlsx</b>  | Stato Limite di Esercizio – comb. Freq. - max taglio verticale            |
| e) | <b>R_Fat_M33.xlsx</b>      | Stato Limite di Fatica - max momento flettente verticale                  |
| f) | <b>R_Fat_V2.xlsx</b>       | Stato Limite di Fatica - max taglio verticale                             |

A titolo riepilogativo si riportano nel seguente paragrafo i diagrammi con le massime sollecitazioni di involuppo SLU per le travi principali di impalcato, sia per il diagramma del taglio che per il momento flettente.

**6.5.2. DIAGRAMMI DELLE MASSIME E MINIME SOLLECITAZIONI DI VERIFICA**

Si riportano di seguito i diagrammi relativi alle massime e minime caratteristiche di sollecitazione agenti sulle travi principali riferiti alle combinazioni di carico in precedenza descritte e di seguito riportate:

**Somma +/-:**

1.35/1.0 Fase1.out + 1.5/1.0 Fase2.out + 1.2/0.0 Ritiro.out + 0.9/0.0 Termica.out + 0.9/0.0 Vento + 1.35/0.0 FASE3

I grafici vengono ricavati mediante fogli di calcolo elettronici sulla base dei valori di sollecitazione totale massima/minima in ciascun elemento ricavati dai file di involucro R\_SLU\_M33.xlsx (max momento flettente) e R\_SLU\_V3.xlsx (max taglio). Si riportano i grafici relativi alla trave interna (filo 100) e esterna (filo 000).

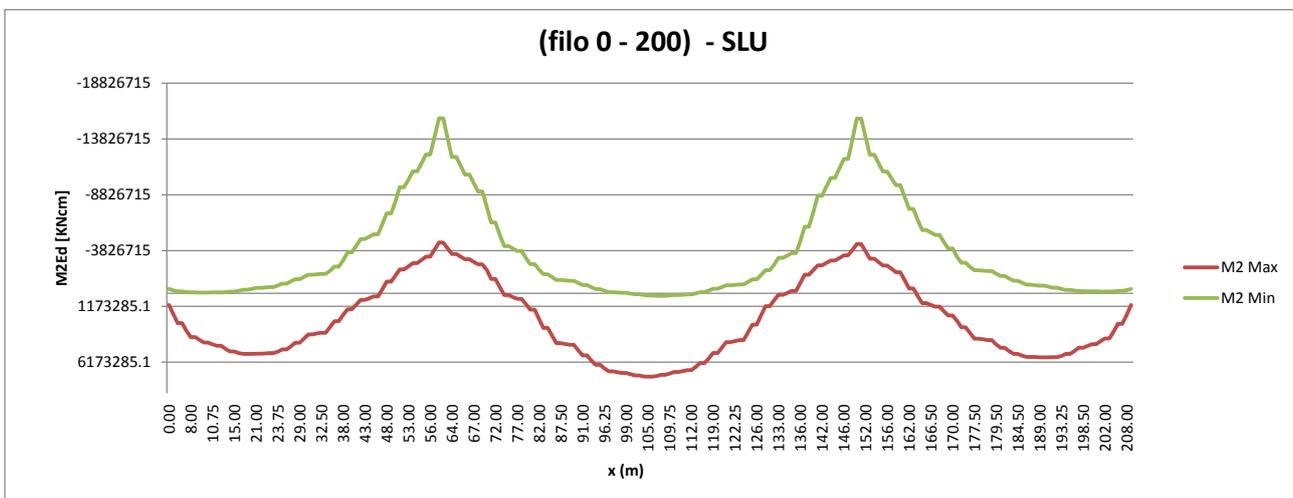


Figura 6.11 Involucro del momento sulla trave esterna (filo 0 - 200).

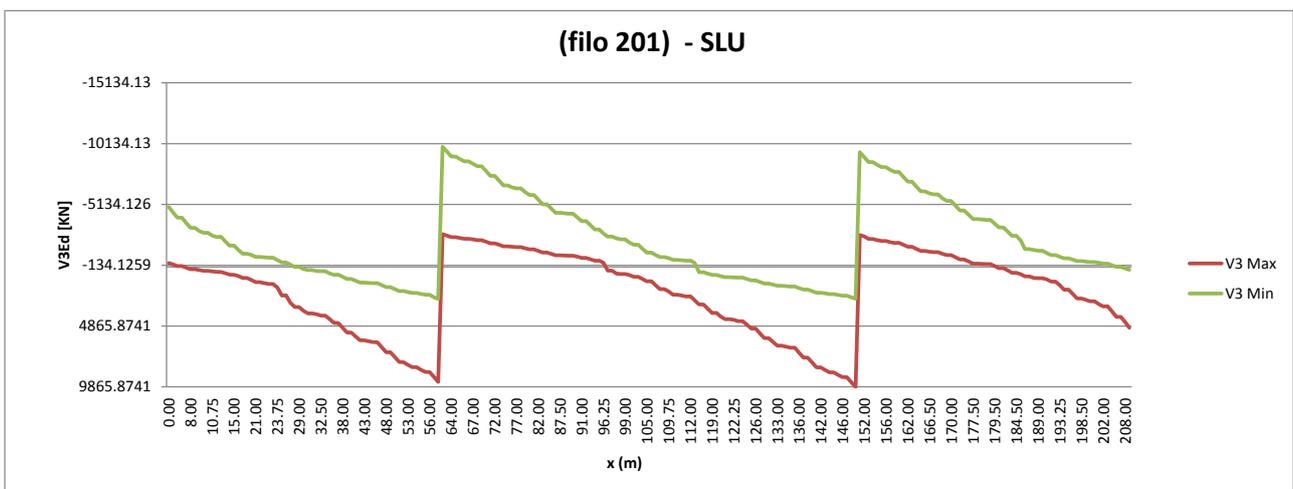


Figura 6.12 Figura 6.13. Involucro del taglio sulla trave esterna (filo 0 - 200).

## **6.6. ANALISI SISMICA**

L'analisi sismica è stata condotta in modo da poter calcolare le reazioni necessarie per il dimensionamento degli appoggi e della sottostruttura (spalle e fondazioni) in condizioni sismiche.

Come già detto, sono previsti degli isolatori elastomerici che consentono di abbattere la rigidezza del sistema ponte-sottostruttura e dunque avere dei periodi propri molto alti in modo da ricadere nel ramo discendente dello spettro di progetto.

N.B.: Il produttore dovrà garantire una variabilità dei valori di rigidezza e smorzamento nominali degli isolatori tenendo conto di tutti i parametri (fornitura, invecchiamento, temperatura e frequenza di prova) non superiore a +/- 20% del valore nominale.

La massa sismica è data dalla somma dei carichi di Fase 1 e di Fase 2.

Di seguito si riportano le combinazioni di carico utilizzate. Le reazioni degli appoggi sono valutate per l'azione sismica allo SLV mentre gli spostamenti massimi sono valutati per l'azione sismica allo SLC.

PROGETTAZIONE ATI:

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
SLV_1	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLV_1			Linear Static	FASE2	1
SLV_1			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLV_1			Response Spectrum	SLV_X	1
SLV_1			Response Spectrum	SLV_Y	0.3
SLV_1			Response Spectrum	SLV_Z	0.3
SLV_1			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLV_2	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLV_2			Linear Static	FASE2	1
SLV_2			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLV_2			Response Spectrum	SLV_X	0.3
SLV_2			Response Spectrum	SLV_Y	1
SLV_2			Response Spectrum	SLV_Z	0.3
SLV_2			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLV_3	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLV_3			Linear Static	FASE2	1
SLV_3			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLV_3			Response Spectrum	SLV_X	0.3
SLV_3			Response Spectrum	SLV_Y	0.3
SLV_3			Response Spectrum	SLV_Z	1
SLV_3			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLC_1	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLC_1			Linear Static	FASE2	1
SLC_1			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLC_1			Response Spectrum	SLC_X	1
SLC_1			Response Spectrum	SLC_Y	0.3
SLC_1			Response Spectrum	SLC_Z	0.3
SLC_1			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLC_2	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLC_2			Linear Static	FASE2	1
SLC_2			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLC_2			Response Spectrum	SLC_X	0.3
SLC_2			Response Spectrum	SLC_Y	1
SLC_2			Response Spectrum	SLC_Z	0.3
SLC_2			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLC_3	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLC_3			Linear Static	FASE2	1
SLC_3			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLC_3			Response Spectrum	SLC_X	0.3
SLC_3			Response Spectrum	SLC_Y	0.3
SLC_3			Response Spectrum	SLC_Z	1
SLC_3			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Il sistema di vincolamento dell'impalcato alle sottostrutture prevede l'impiego di isolatori elastomerici; si tratta di dispositivi d'appoggio costituiti da strati alterni di acciaio e di elastomero collegati mediante vulcanizzazione; sono caratterizzati da ridotta rigidità orizzontale, elevata rigidità verticale ed opportuna capacità dissipativa. Queste caratteristiche consentono rispettivamente di aumentare il periodo proprio della struttura, di sostenere i carichi verticali senza apprezzabili cedimenti, e di contenere lo spostamento sulla struttura isolata.

Su ogni spalla e pila sono posizionati 2 isolatori elastomerici su un unico allineamento in corrispondenza delle due nervature principali dell'impalcato.

Nel caso specifico vengono utilizzati degli isolatori elastomerici caratterizzati da i seguenti parametri:

SPALLA

- coefficiente di smorzamento viscoso equivalente (pari a  $\xi_{eq} = 10\%$ ),
- spostamento massimo pari a 300 mm,
- rigidità orizzontale equivalente  $K_e = 4.40$  kN/mm
- rigidità verticale  $K_v = 3048$  kN/mm

PILA

- coefficiente di smorzamento viscoso equivalente (pari a  $\xi_{eq} = 10\%$ ),
- spostamento massimo pari a 300 mm,
- rigidità orizzontale equivalente  $K_e = 5.30$  kN/mm
- rigidità verticale  $K_v = 3546$  kN/mm

Nel modello di calcolo tali dispositivi sono modellati con elementi "link" lineari a cui sono state assegnate le caratteristiche di rigidità orizzontale equivalente (nelle due direzioni ortogonali nel piano orizzontale) e rigidità verticale dell'isolatore adottato.

PROGETTAZIONE ATI:

### 6.6.1. ANALISI MODALE

È stata definita l'analisi modale in modo da non trascurare modi di vibrare avente massa partecipante superiore al 5%. I primi due modi di vibrare mobilitano il 100% della massa nelle due direzioni principali X e Y, per raggiungere il 95% della massa lungo partecipante lungo Z sono stati studiati 25 modi di vibrare.

Di seguito vengono illustrati i modi di vibrare più significativi e le tabelle relative alle informazioni più rilevanti dell'analisi stessa.

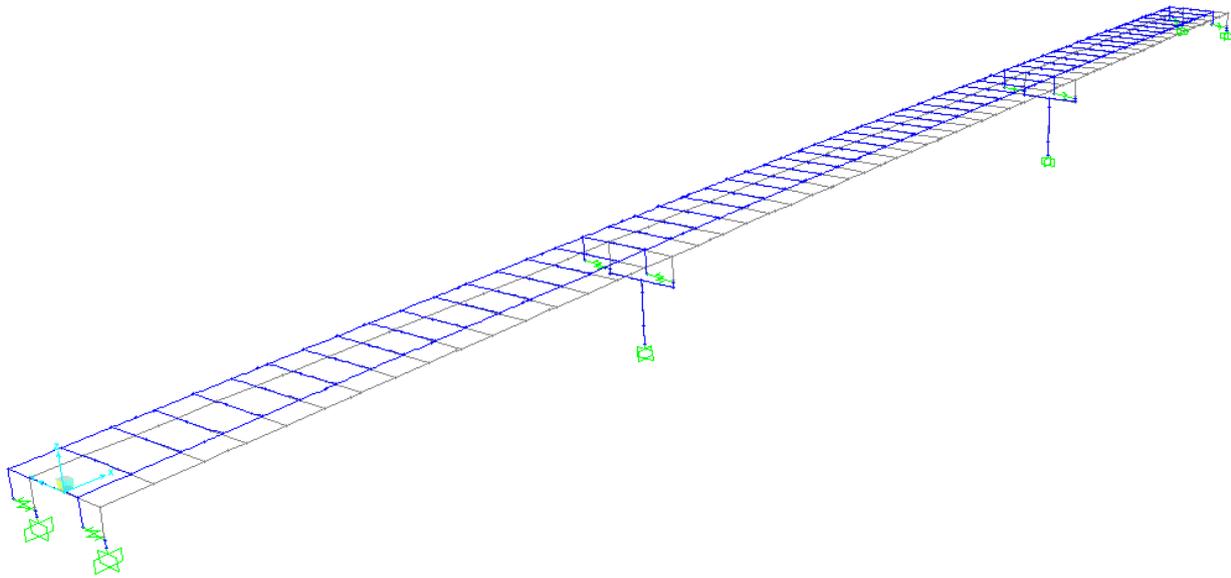


Figura 6.13 Primo modo di vibrare (T=2.044 s)

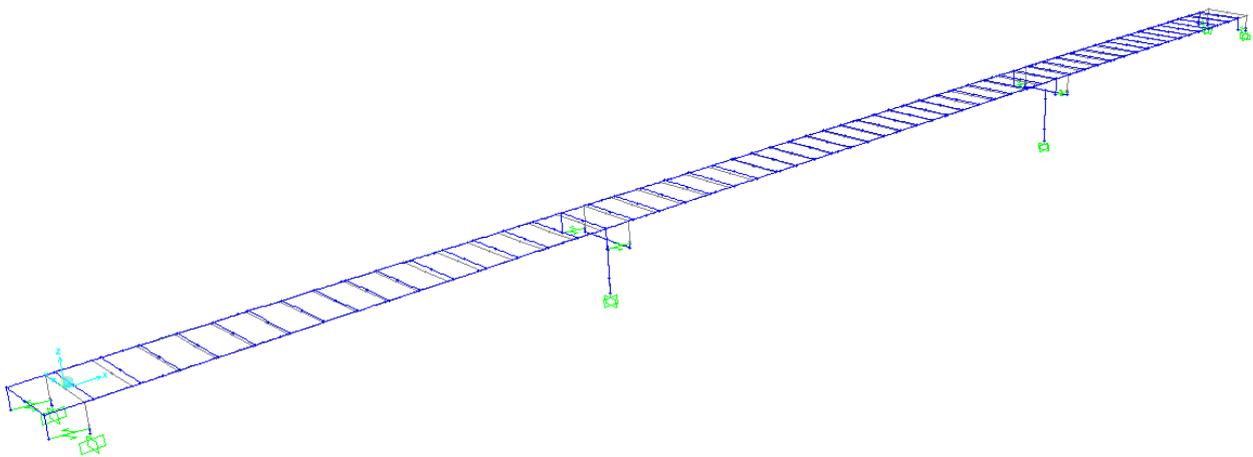


Figura 6.14 Secondo modo di vibrare (T=1.960 s)

PROGETTAZIONE ATI:

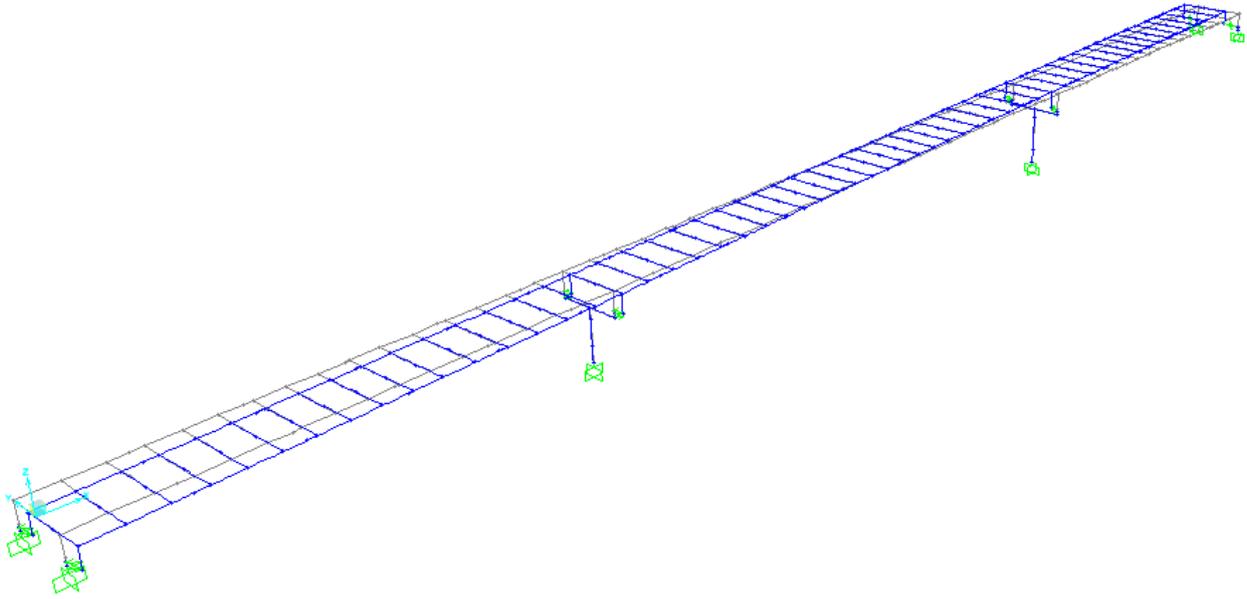


Figura 6.15 Terzo modo di vibrare (T=1.544 s)

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.044424	0	0.874	0	0	0.874	0
MODAL	Mode	2	1.960429	0.883	0	2.184E-07	0.883	0.874	2.184E-07
MODAL	Mode	3	1.544225	0	4.719E-07	0	0.883	0.874	2.184E-07
MODAL	Mode	4	0.876419	1.134E-08	0	0.049	0.883	0.874	0.049
MODAL	Mode	5	0.823937	0	0.00005651	0	0.883	0.874	0.049
MODAL	Mode	6	0.732373	0	0.009295	0	0.883	0.883	0.049
MODAL	Mode	7	0.50749	0.0000079	0	0.017	0.883	0.883	0.067
MODAL	Mode	8	0.489363	0	0.00000231	0	0.883	0.883	0.067
MODAL	Mode	9	0.448429	2.192E-08	0	0.659	0.883	0.883	0.726
MODAL	Mode	10	0.440964	0	0.00004126	0	0.883	0.883	0.726
MODAL	Mode	11	0.326827	0	2.41E-08	0	0.883	0.883	0.726
MODAL	Mode	12	0.28073	0.000004417	0	0.0002679	0.883	0.883	0.726
...									
MODAL	Mode	50	0.003429	0.026	0	0.000009705	0.993	0.971	0.967

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0.00009992	0	0.658	0.00009992	0	0.658
0	0.000001723	0	0.00009992	0.000001723	0.658
5.153E-08	0	0.222	0.00009997	0.000001723	0.88
0	0.043	0	0.00009997	0.043	0.88
0.052	0	0.00004801	0.052	0.043	0.88
0.000001067	0	0.007004	0.052	0.043	0.887
0	0.065	0	0.052	0.108	0.887
0.017	0	0.000001202	0.069	0.108	0.887
0	0.574	0	0.069	0.682	0.887
0.569	0	0.00003307	0.639	0.682	0.887
9.78E-08	0	0.0001704	0.639	0.682	0.887
0	0.046	0	0.639	0.729	0.887
...					
1.304E-20	0.00006107	0	0.847	0.947	0.971

PROGETTAZIONE ATI:

### 6.6.2. REAZIONI DEGLI APPOGGI ALLO SLC - SLV

Nel paragrafo seguente vengono indicate le reazioni degli appoggi allo SLC utili al dimensionamento degli stessi. Per le reazioni relative alla combinazione SLU si rimanda alle tabelle riportate nel capitolo 11.

TABLE: Element Forces - Links								
Link	LinkElem	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3
Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN
P1-1	P1-1	I-End	SLC_1	Combination	Max	-6843.77	1301.296	404.475
P1-1	P1-1	J-End	SLC_1	Combination	Max	-6843.77	1301.296	404.475
P1-1	P1-1	I-End	SLC_1	Combination	Min	-8182.718	-1264.004	-373.785
P1-1	P1-1	J-End	SLC_1	Combination	Min	-8182.718	-1264.004	-373.785
P1-1	P1-1	I-End	SLC_2	Combination	Max	-6249.575	462.862	1310.469
P1-1	P1-1	J-End	SLC_2	Combination	Max	-6249.575	462.862	1310.469
P1-1	P1-1	I-End	SLC_2	Combination	Min	-8776.912	-425.571	-1279.78
P1-1	P1-1	J-End	SLC_2	Combination	Min	-8776.912	-425.571	-1279.78
P1-1	P1-1	I-End	SLC_3	Combination	Max	-6140.559	454.259	405.91
P1-1	P1-1	J-End	SLC_3	Combination	Max	-6140.559	454.259	405.91
P1-1	P1-1	I-End	SLC_3	Combination	Min	-8885.929	-416.967	-375.22
P1-1	P1-1	J-End	SLC_3	Combination	Min	-8885.929	-416.967	-375.22
P1-2	P1-2	I-End	SLC_1	Combination	Max	-6843.77	1301.296	373.785
P1-2	P1-2	J-End	SLC_1	Combination	Max	-6843.77	1301.296	373.785
P1-2	P1-2	I-End	SLC_1	Combination	Min	-8182.718	-1264.004	-404.475
P1-2	P1-2	J-End	SLC_1	Combination	Min	-8182.718	-1264.004	-404.475
P1-2	P1-2	I-End	SLC_2	Combination	Max	-6249.575	462.862	1279.78
P1-2	P1-2	J-End	SLC_2	Combination	Max	-6249.575	462.862	1279.78
P1-2	P1-2	I-End	SLC_2	Combination	Min	-8776.912	-425.571	-1310.469
P1-2	P1-2	J-End	SLC_2	Combination	Min	-8776.912	-425.571	-1310.469
P1-2	P1-2	I-End	SLC_3	Combination	Max	-6140.559	454.259	375.22
P1-2	P1-2	J-End	SLC_3	Combination	Max	-6140.559	454.259	375.22
P1-2	P1-2	I-End	SLC_3	Combination	Min	-8885.929	-416.967	-405.91
P1-2	P1-2	J-End	SLC_3	Combination	Min	-8885.929	-416.967	-405.91
P2-1	P2-1	I-End	SLC_1	Combination	Max	-6796.075	1261.658	403.998
P2-1	P2-1	J-End	SLC_1	Combination	Max	-6796.075	1261.658	403.998
P2-1	P2-1	I-End	SLC_1	Combination	Min	-8174.549	-1297.525	-373.422
P2-1	P2-1	J-End	SLC_1	Combination	Min	-8174.549	-1297.525	-373.422
P2-1	P2-1	I-End	SLC_2	Combination	Max	-6202.887	425.57	1308.917
P2-1	P2-1	J-End	SLC_2	Combination	Max	-6202.887	425.57	1308.917
P2-1	P2-1	I-End	SLC_2	Combination	Min	-8767.737	-461.436	-1278.341
P2-1	P2-1	J-End	SLC_2	Combination	Min	-8767.737	-461.436	-1278.341
P2-1	P2-1	I-End	SLC_3	Combination	Max	-6045.224	417.696	405.531
P2-1	P2-1	J-End	SLC_3	Combination	Max	-6045.224	417.696	405.531
P2-1	P2-1	I-End	SLC_3	Combination	Min	-8925.4	-453.563	-374.955
P2-1	P2-1	J-End	SLC_3	Combination	Min	-8925.4	-453.563	-374.955
P2-2	P2-2	I-End	SLC_1	Combination	Max	-6796.075	1261.658	373.422
P2-2	P2-2	J-End	SLC_1	Combination	Max	-6796.075	1261.658	373.422
P2-2	P2-2	I-End	SLC_1	Combination	Min	-8174.549	-1297.525	-403.998
P2-2	P2-2	J-End	SLC_1	Combination	Min	-8174.549	-1297.525	-403.998
P2-2	P2-2	I-End	SLC_2	Combination	Max	-6202.887	425.57	1278.341
P2-2	P2-2	J-End	SLC_2	Combination	Max	-6202.887	425.57	1278.341
P2-2	P2-2	I-End	SLC_2	Combination	Min	-8767.737	-461.436	-1308.917
P2-2	P2-2	J-End	SLC_2	Combination	Min	-8767.737	-461.436	-1308.917
P2-2	P2-2	I-End	SLC_3	Combination	Max	-6045.224	417.696	374.955
P2-2	P2-2	J-End	SLC_3	Combination	Max	-6045.224	417.696	374.955
P2-2	P2-2	I-End	SLC_3	Combination	Min	-8925.4	-453.563	-405.531
P2-2	P2-2	J-End	SLC_3	Combination	Min	-8925.4	-453.563	-405.531

PROGETTAZIONE ATI:

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

SP1-1	SP1-1	I-End	SLC_1	Combination	Max	-1269.084	1177.831	247.844
SP1-1	SP1-1	J-End	SLC_1	Combination	Max	-1269.084	1177.831	247.844
SP1-1	SP1-1	I-End	SLC_1	Combination	Min	-1977.791	-1123.777	-247.844
SP1-1	SP1-1	J-End	SLC_1	Combination	Min	-1977.791	-1123.777	-247.844
SP1-1	SP1-1	I-End	SLC_2	Combination	Max	-953.286	479.935	826.148
SP1-1	SP1-1	J-End	SLC_2	Combination	Max	-953.286	479.935	826.148
SP1-1	SP1-1	I-End	SLC_2	Combination	Min	-2293.588	-425.881	-826.148
SP1-1	SP1-1	J-End	SLC_2	Combination	Min	-2293.588	-425.881	-826.148
SP1-1	SP1-1	I-End	SLC_3	Combination	Max	-1068.79	471.018	247.844
SP1-1	SP1-1	J-End	SLC_3	Combination	Max	-1068.79	471.018	247.844
SP1-1	SP1-1	I-End	SLC_3	Combination	Min	-2178.084	-416.964	-247.844
SP1-1	SP1-1	J-End	SLC_3	Combination	Min	-2178.084	-416.964	-247.844
SP1-2	SP1-2	I-End	SLC_1	Combination	Max	-1269.084	1177.831	247.844
SP1-2	SP1-2	J-End	SLC_1	Combination	Max	-1269.084	1177.831	247.844
SP1-2	SP1-2	I-End	SLC_1	Combination	Min	-1977.791	-1123.777	-247.844
SP1-2	SP1-2	J-End	SLC_1	Combination	Min	-1977.791	-1123.777	-247.844
SP1-2	SP1-2	I-End	SLC_2	Combination	Max	-953.286	479.935	826.148
SP1-2	SP1-2	J-End	SLC_2	Combination	Max	-953.286	479.935	826.148
SP1-2	SP1-2	I-End	SLC_2	Combination	Min	-2293.588	-425.881	-826.148
SP1-2	SP1-2	J-End	SLC_2	Combination	Min	-2293.588	-425.881	-826.148
SP1-2	SP1-2	I-End	SLC_3	Combination	Max	-1068.79	471.018	247.844
SP1-2	SP1-2	J-End	SLC_3	Combination	Max	-1068.79	471.018	247.844
SP1-2	SP1-2	I-End	SLC_3	Combination	Min	-2178.084	-416.964	-247.844
SP1-2	SP1-2	J-End	SLC_3	Combination	Min	-2178.084	-416.964	-247.844
SP2-1	SP2-1	I-End	SLC_1	Combination	Max	-1253.575	1123.911	248.534
SP2-1	SP2-1	J-End	SLC_1	Combination	Max	-1253.575	1123.911	248.534
SP2-1	SP2-1	I-End	SLC_1	Combination	Min	-2017.238	-1179.39	-248.534
SP2-1	SP2-1	J-End	SLC_1	Combination	Min	-2017.238	-1179.39	-248.534
SP2-1	SP2-1	I-End	SLC_2	Combination	Max	-937.96	425.7	828.447
SP2-1	SP2-1	J-End	SLC_2	Combination	Max	-937.96	425.7	828.447
SP2-1	SP2-1	I-End	SLC_2	Combination	Min	-2332.853	-481.178	-828.447
SP2-1	SP2-1	J-End	SLC_2	Combination	Min	-2332.853	-481.178	-828.447
SP2-1	SP2-1	I-End	SLC_3	Combination	Max	-1000.388	417.527	248.534
SP2-1	SP2-1	J-End	SLC_3	Combination	Max	-1000.388	417.527	248.534
SP2-1	SP2-1	I-End	SLC_3	Combination	Min	-2270.425	-473.005	-248.534
SP2-1	SP2-1	J-End	SLC_3	Combination	Min	-2270.425	-473.005	-248.534
SP2-2	SP2-2	I-End	SLC_1	Combination	Max	-1253.575	1123.911	248.534
SP2-2	SP2-2	J-End	SLC_1	Combination	Max	-1253.575	1123.911	248.534
SP2-2	SP2-2	I-End	SLC_1	Combination	Min	-2017.238	-1179.39	-248.534
SP2-2	SP2-2	J-End	SLC_1	Combination	Min	-2017.238	-1179.39	-248.534
SP2-2	SP2-2	I-End	SLC_2	Combination	Max	-937.96	425.7	828.447
SP2-2	SP2-2	J-End	SLC_2	Combination	Max	-937.96	425.7	828.447
SP2-2	SP2-2	I-End	SLC_2	Combination	Min	-2332.853	-481.178	-828.447
SP2-2	SP2-2	J-End	SLC_2	Combination	Min	-2332.853	-481.178	-828.447
SP2-2	SP2-2	I-End	SLC_3	Combination	Max	-1000.388	417.527	248.534
SP2-2	SP2-2	J-End	SLC_3	Combination	Max	-1000.388	417.527	248.534
SP2-2	SP2-2	I-End	SLC_3	Combination	Min	-2270.425	-473.005	-248.534
SP2-2	SP2-2	J-End	SLC_3	Combination	Min	-2270.425	-473.005	-248.534

PROGETTAZIONE ATI:

### 6.6.3. SPOSTAMENTI ALLO SLC - SLU

Si riportano in tabella i valori degli spostamenti degli appoggi allo SLC, necessari per il dimensionamento della corsa dell'isolatore.

TABLE: Joint Displacements						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	$(U1^2+U2^2)^{0.5}$
Text	Text	Text	Text	cm	cm	cm
P1-1	SLC_1	Combination	Max	24.244233	7.374195	25.3
P1-1	SLC_1	Combination	Min	-24.870347	-7.378804	25.9
P1-1	SLC_2	Combination	Max	8.188931	24.58573	25.9
P1-1	SLC_2	Combination	Min	-8.815045	-24.590339	26.1
P1-1	SLC_3	Combination	Max	8.019483	7.37441	10.9
P1-1	SLC_3	Combination	Min	-8.645597	-7.37902	11.4
P1-2	SLC_1	Combination	Max	24.244233	7.378804	25.3
P1-2	SLC_1	Combination	Min	-24.870347	-7.374195	25.9
P1-2	SLC_2	Combination	Max	8.188931	24.590339	25.9
P1-2	SLC_2	Combination	Min	-8.815045	-24.58573	26.1
P1-2	SLC_3	Combination	Max	8.019483	7.37902	10.9
P1-2	SLC_3	Combination	Min	-8.645597	-7.37441	11.4
P2-1	SLC_1	Combination	Max	24.876816	7.37949	25.9
P2-1	SLC_1	Combination	Min	-24.254282	-7.384083	25.4
P2-1	SLC_2	Combination	Max	8.821783	24.603348	26.1
P2-1	SLC_2	Combination	Min	-8.199249	-24.60794	25.9
P2-1	SLC_3	Combination	Max	8.664715	7.379721	11.4
P2-1	SLC_3	Combination	Min	-8.042181	-7.384313	10.9
P2-2	SLC_1	Combination	Max	24.876816	7.384083	25.9
P2-2	SLC_1	Combination	Min	-24.254282	-7.37949	25.4
P2-2	SLC_2	Combination	Max	8.821783	24.60794	26.1
P2-2	SLC_2	Combination	Min	-8.199249	-24.603348	25.9
P2-2	SLC_3	Combination	Max	8.664715	7.384313	11.4
P2-2	SLC_3	Combination	Min	-8.042181	-7.379721	10.9
SP1-1	SLC_1	Combination	Max	25.637284	5.643675	26.3
SP1-1	SLC_1	Combination	Min	-26.709583	-5.643675	27.3
SP1-1	SLC_2	Combination	Max	9.758637	18.812251	21.2
SP1-1	SLC_2	Combination	Min	-10.830935	-18.812251	21.7
SP1-1	SLC_3	Combination	Max	9.540202	5.643675	11.1
SP1-1	SLC_3	Combination	Min	-10.6125	-5.643675	12.0
SP1-2	SLC_1	Combination	Max	25.637284	5.643675	26.3
SP1-2	SLC_1	Combination	Min	-26.709583	-5.643675	27.3
SP1-2	SLC_2	Combination	Max	9.758637	18.812251	21.2
SP1-2	SLC_2	Combination	Min	-10.830935	-18.812251	21.7
SP1-2	SLC_3	Combination	Max	9.540202	5.643675	11.1
SP1-2	SLC_3	Combination	Min	-10.6125	-5.643675	12.0
SP2-1	SLC_1	Combination	Max	26.751172	5.659385	27.3
SP2-1	SLC_1	Combination	Min	-25.629644	-5.659385	26.2
SP2-1	SLC_2	Combination	Max	10.86609	18.864616	21.8
SP2-1	SLC_2	Combination	Min	-9.744562	-18.864616	21.2
SP2-1	SLC_3	Combination	Max	10.662675	5.659385	12.1
SP2-1	SLC_3	Combination	Min	-9.541147	-5.659385	11.1
SP2-2	SLC_1	Combination	Max	26.751172	5.659385	27.3
SP2-2	SLC_1	Combination	Min	-25.629644	-5.659385	26.2
SP2-2	SLC_2	Combination	Max	10.86609	18.864616	21.8
SP2-2	SLC_2	Combination	Min	-9.744562	-18.864616	21.2
SP2-2	SLC_3	Combination	Max	10.662675	5.659385	12.1
SP2-2	SLC_3	Combination	Min	-9.541147	-5.659385	11.1

Lo spostamento massimo richiesto in combinazione SLC è dunque pari a 273 mm che risulta essere minore rispetto alla corsa dell'isolatore che risulta essere pari a 300 mm.

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Nella tabella seguente vengono riportati gli spostamenti concomitanti allo sforzo normale massimo presente su isolatore nella combinazione SLU (vento e termica uniforme come azioni secondarie).

TABLE: Joint Displacements - Comb Nmax					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	cm	cm
P1-1	VENTO + VUT	Combination	Max	2.305276	13.867392
P1-1	VENTO + VUT	Combination	Min	-2.03264	13.867392
P1-2	VENTO + VUT	Combination	Max	2.03264	13.866408
P1-2	VENTO + VUT	Combination	Min	-2.305276	13.866408
P2-1	VENTO + VUT	Combination	Max	2.031087	13.869431
P2-1	VENTO + VUT	Combination	Min	-2.306525	13.869431
P2-2	VENTO + VUT	Combination	Max	2.306525	13.868447
P2-2	VENTO + VUT	Combination	Min	-2.031087	13.868447
SP1-1	VENTO + VUT	Combination	Max	5.294518	10.86232
SP1-1	VENTO + VUT	Combination	Min	-4.84076	10.86232
SP1-2	VENTO + VUT	Combination	Max	4.84076	10.861759
SP1-2	VENTO + VUT	Combination	Min	-5.294518	10.861759
SP2-1	VENTO + VUT	Combination	Max	4.841182	10.861323
SP2-1	VENTO + VUT	Combination	Min	-5.294462	10.861323
SP2-2	VENTO + VUT	Combination	Max	5.294462	10.860762
SP2-2	VENTO + VUT	Combination	Min	-4.841182	10.860762

Nella tabella seguente vengono riportati gli spostamenti massimi nella combinazione SLU (involuppo tra vento e termica come azioni principali).

TABLE: Joint Displacements - ENV SLU					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	cm	cm
P1-1	ENV SLU	Combination	Max	3.751247	23.11232
P1-1	ENV SLU	Combination	Min	-3.478612	13.867392
P1-2	ENV SLU	Combination	Max	3.478612	23.11068
P1-2	ENV SLU	Combination	Min	-3.751247	13.866408
P2-1	ENV SLU	Combination	Max	3.476957	23.115718
P2-1	ENV SLU	Combination	Min	-3.752396	13.869431
P2-2	ENV SLU	Combination	Max	3.752396	23.114078
P2-2	ENV SLU	Combination	Min	-3.476957	13.868447
SP1-1	ENV SLU	Combination	Max	8.672944	18.103867
SP1-1	ENV SLU	Combination	Min	-8.219187	10.86232
SP1-2	ENV SLU	Combination	Max	8.219187	18.102932
SP1-2	ENV SLU	Combination	Min	-8.672944	10.861759
SP2-1	ENV SLU	Combination	Max	8.21973	18.102205
SP2-1	ENV SLU	Combination	Min	-8.67301	10.861323
SP2-2	ENV SLU	Combination	Max	8.67301	18.101271
SP2-2	ENV SLU	Combination	Min	-8.21973	10.860762

#### 6.6.4. CORSA MASSIMA GIUNTI DI DILATAZIONE

Si riportano in tabella i valori degli spostamenti degli appoggi di spalla allo SLV nelle due direzioni longitudinale e trasversale (parallele e ortogonale all'asse del ponte), necessari per il dimensionamento del giunto di dilatazione

TABLE: Element Deformations - Links						
Link	LinkElem	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	Text	cm	cm
SP1-1	SP1-1	SLV_1	Combinat	Max	22.56215	4.620514
SP1-1	SP1-1	SLV_1	Combinat	Min	-21.3336	-4.62051
SP1-1	SP1-1	SLV_2	Combinat	Max	9.551605	15.40171
SP1-1	SP1-1	SLV_2	Combinat	Min	-8.32311	-15.4017
SP1-2	SP1-2	SLV_1	Combinat	Max	22.56215	4.620514
SP1-2	SP1-2	SLV_1	Combinat	Min	-21.3336	-4.62051
SP1-2	SP1-2	SLV_2	Combinat	Max	9.551605	15.40171
SP1-2	SP1-2	SLV_2	Combinat	Min	-8.32311	-15.4017
SP2-1	SP2-1	SLV_1	Combinat	Max	21.33271	4.633373
SP2-1	SP2-1	SLV_1	Combinat	Min	-22.5936	-4.63337
SP2-1	SP2-1	SLV_2	Combinat	Max	8.316288	15.44458
SP2-1	SP2-1	SLV_2	Combinat	Min	-9.57716	-15.4446
SP2-2	SP2-2	SLV_1	Combinat	Max	21.33271	4.633373
SP2-2	SP2-2	SLV_1	Combinat	Min	-22.5936	-4.63337
SP2-2	SP2-2	SLV_2	Combinat	Max	8.316288	15.44458
SP2-2	SP2-2	SLV_2	Combinat	Min	-9.57716	-15.4446

	ESCURSIONE GIUNTI (SLV)	
	LONG (mm)	TRASV (mm)
SPA-SPB	±230	±165

## 7. VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Nel presente capitolo si riportano le verifiche degli elementi strutturali di cui si sono descritte le caratteristiche statiche e di sollecitazione nei capitoli precedenti. I criteri per la verifica della resistenza delle sezioni (cross section checks) sono contenuti nelle NTC18 cap. 4.2, 4.3 e relative istruzioni. Si rileva una perfetta coincidenza con quanto contenuto in Eurocodice, attraverso l'applicazione del relativo N.A.D. (rif. EN 1993-1-1, EN1993-1-5, EN 1993-2, EN1994-1-1, EN 1994-2). Nel prosieguo si farà riferimento puntuale a quest'ultimo testo, caratterizzato da una trattazione più omogenea, e da un riferimento più puntuale relativamente alle varie regole applicative. Nell'ambito dei vari S.L. considerati, si effettuano, a livello sezionale, le seguenti verifiche:

### **S.L.U.**

resistenza delle sezioni (incluse verifiche di "local buckling")  
flange induced buckling

### **S.L.E.**

limitazione delle tensioni  
"web breathing"

### **Fatica**

verifica dell'ampiezza dei  $\Delta\sigma$

I medesimi S.L. verranno esaminati, con le medesime modalità generali, per la verifica della connessione trave-soletta. Il complesso delle precedenti verifiche viene effettuato in automatico dal programma "Ponti EC4" per tutte le sezioni miste acciaio-clc che costituiscono le travi principali del viadotto. Nel seguito vengono esposte in dettaglio le modalità operative attraverso il commento della reportistica delle sezioni più significative prese a campione.

### 7.1. DISTRIBUZIONE DELLE SEZIONI STRUTTURALI

Per la distribuzione delle sezioni strutturali si fa riferimento ai paragrafi dell'analisi strutturale, mentre nel seguente prospetto si riepilogano le denominazioni delle sezioni utilizzate dal software Ponti EC4 in correlazione con la numerazione delle aste dei modelli di calcolo.

Ponti EC4 per ciascuna asta delle travi principali di impalcato crea una sezione di verifica corrispondente all'output station del frame nel modello seguendo i seguenti parametri:

- Trave (filo 0-200, T1)
- Numero elemento frame considerato (numero "frame" del modello di calcolo)
- Output Station considerato ("I" = inizio elemento, "M" = mezzera elemento, "F" = fine elemento)

Quindi per l'elemento j-esimo ("frame" appartenente alla trave Tn-esima) verranno riportate le verifiche per le sezioni resistenti TnNji, TnNjm e TnNjf. Di seguito si riporta uno specchio riepilogativo dell'associazione fra aste di modello, sezioni metalliche resistenti e la denominazione delle sezioni di verifica utilizzata dal software Ponti EC4.

<b>SEZIONE DI VERIFICA</b>	<b>CONCIO METALLICO DI ANALISI</b>	<b>ASTE MODELLO</b>
T1N001I-T1N003F	001	1-3
T1N004I-T1N007F	002	4-7
T1N008I-T1N011F	003	8-11
T1N012I-T1N015F	004	12-15
T1N016I-T1N019F	005	16-19
T1N020I-T1N021F	006	20-21
T1N022I-T1N023F	006	22-23
T1N024I-T1N027F	007	24-27
T1N028I-T1N031F	008	28-31
T1N032I-T1N035F	009	32-35
T1N036I-T1N039F	010	36-39
T1N040I-T1N043F	011	40-43
T1N044I-T1N047F	012	44-47
T1N048I-T1N051F	013	48-51
T1N052I-T1N053F	014	52-53
T1N054I-T1N055F	014	54-55
T1N056I-T1N059F	015	56-59
T1N060I-T1N063F	016	60-63
T1N064I-T1N067F	017	64-67
T1N068I-T1N071F	018	68-71
T1N072I-T1N074F	019	72-74

Figura 7.1 Tabella di riferimento sezioni di verifica - conci metallici di analisi – frame modello – Trave 0

## 7.2. TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLU

Le verifiche di resistenza delle sezioni allo S.L.U. viene effettuata attraverso i seguenti passaggi:

– **Preclassificazione della sezione**

Effettuata sulla base delle caratteristiche geometriche dei singoli sottocomponenti.

– **Analisi plastica**

Tracciamento dei domini di resistenza della sezione  $N/M_{rd}$  ed  $N/M_{f,rd}$  (dominio della sezione privata dell'anima).

– **Classificazione effettiva della sezione**

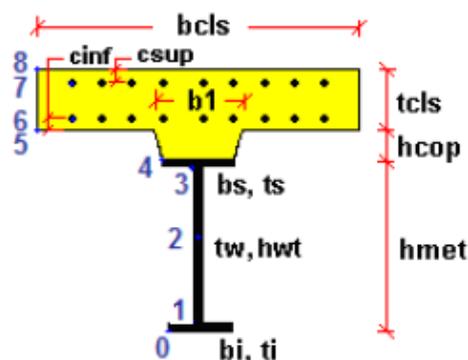
Effettuata sulla base dell'effettivo valore di  $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$  per la combinazione in esame (max/min  $M_{Ed}$ , max/min  $V_{Ed}$ , con i rispettivi valori concomitanti).

– **Verifica plastica a pressoflessione (solo sezioni cl. 1 e 2):**

Valutazione del massimo rapporto di sfruttamento plastico  $\eta_{1,;}$  effettuata con riferimento a  $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$  agenti isolatamente, e per effetto combinato.

– **Verifica elastica a pressoflessione (sezioni cl. 3 e 4)**

Valutazione del massimo rapporto di sfruttamento elastico  $\eta_1$ , effettuata rispettivamente per le sezioni in classe 3/4 con riferimento alle caratteristiche geometriche lorde/efficaci. Le caratteristiche geometriche efficaci vengono dedotte in maniera iterativa, tenendo conto delle flessioni parassite che nascono per effetto dell'eccentricità assunta dall'azione assiale di progetto causata dallo "shift" progressivo dell'a.n.e. Le tensioni vengono valutate in corrispondenza delle 8 fibre indicate nello schema seguente.



Nell'ambito del calcolo tensionale, la soletta viene considerata "cracked" (non reagente) all'atto dell'annullamento della tensione di compressione valutata in corrispondenza della fibra media. Contestualmente all'annullamento della soletta, si annullano anche le sollecitazioni da ritiro primario.

– **Verifica a taglio - sezioni non soggette a "shear buckling"**

Viene effettuato il calcolo del taglio resistente plastico e il calcolo del rapporto di sfruttamento a taglio.

– **Verifica a taglio - sezioni suscettibili di "shear buckling"**

Per sezioni soggette a "shear buckling" viene valutato il coefficiente di riduzione  $\phi_w$ , e successivamente valutato il taglio resistente  $V_{b,Rd}$  come somma dei contributi resistenti dell'anima  $V_{bw,Rd}$  e, se applicabile, delle flange  $V_{bf,Rd}$ .

– Verifica interazione azione assiale - flessione - taglio (tutte le classi)

Si adotta univocamente, per tutte le classi di sezione, l'approccio proposto da EN 1993-1-5, cap. 7.1, che consiste nella valutazione di un rapporto di sfruttamento modificato in funzione dei singoli rapporti di sfruttamento valutati per pressoflessione e taglio agenti separatamente. L'adozione di questa formulazione risulta a rigore solo leggermente più cautelativa di quella riservata alle sezioni di classe 1 - 2, per le quali l'interazione N-M-V si risolverebbe con la deduzione di un rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali valutato con riferimento a una anima opportunamente ridotta per tenere conto dell'influenza del taglio (cfr. EN 1994-2 cap. 6.2.2.4.(2)).

Un'ulteriore ipotesi cautelativa, riservata alla verifica di sezioni in classe 3-4, è l'utilizzo sistematico del rapporto di sfruttamento elastico in luogo di quello plastico, indipendentemente dall'andamento delle tensioni lungo l'anima (a rigore la EN 1993-1-5, cap. 7.1.(4) e (5) prevede tale accortezza solo qualora l'anima risulti interamente in compressione). Inoltre in EN 1993-1-5 7.1 (2) è indicato che la verifica deve essere effettuata a distanza maggiore di  $hw/2$  dalla sezione di appoggio. In considerazione di queste ipotesi cautelative le verifiche di interazione si intendono soddisfatte anche se dovessero eccedere l'unità di qualche punto percentuale.

Come già evidenziato relativamente al calcolo del contributo resistente a taglio delle flange, le resistenze plastiche della sezione completa e della sezione privata dell'anima sono rilevate direttamente dai rispettivi domini di interazione, per cui:

$$M_{pl,Rd} = M_{pl(N),Rd}$$

$$M_{f,Rd} = M_{f(N),Rd}$$

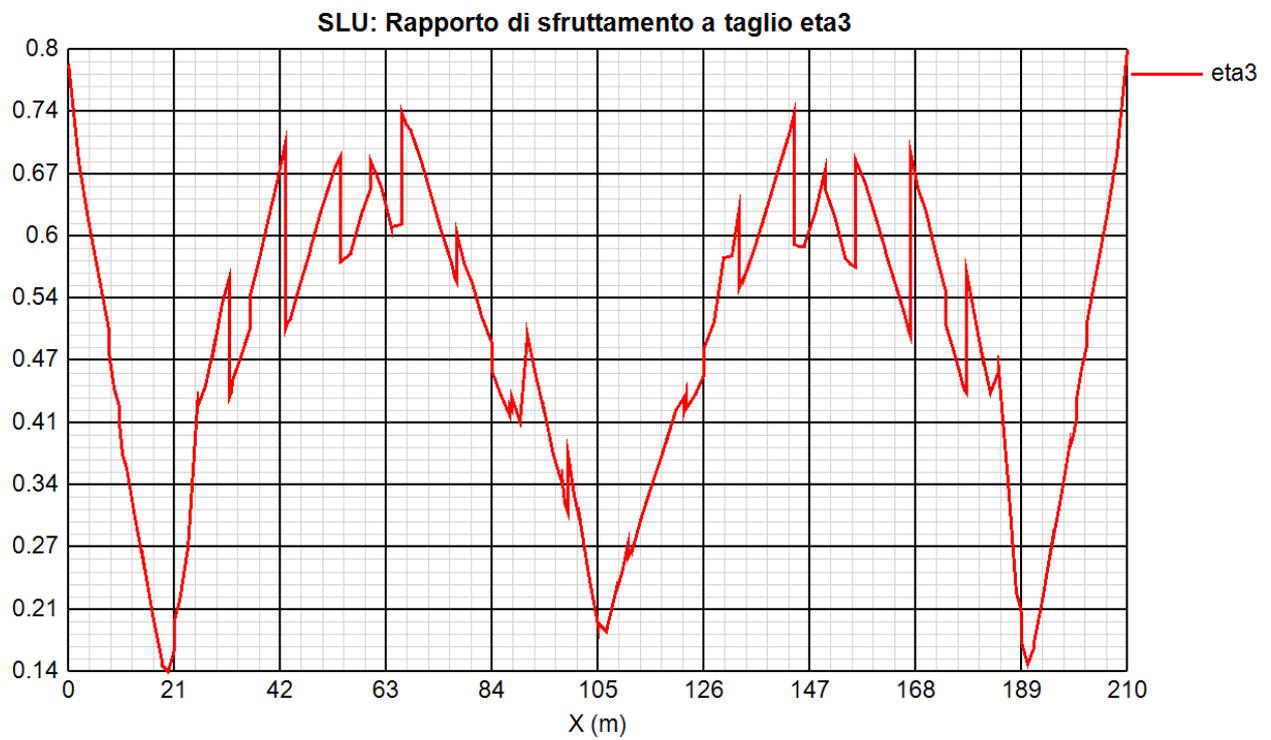
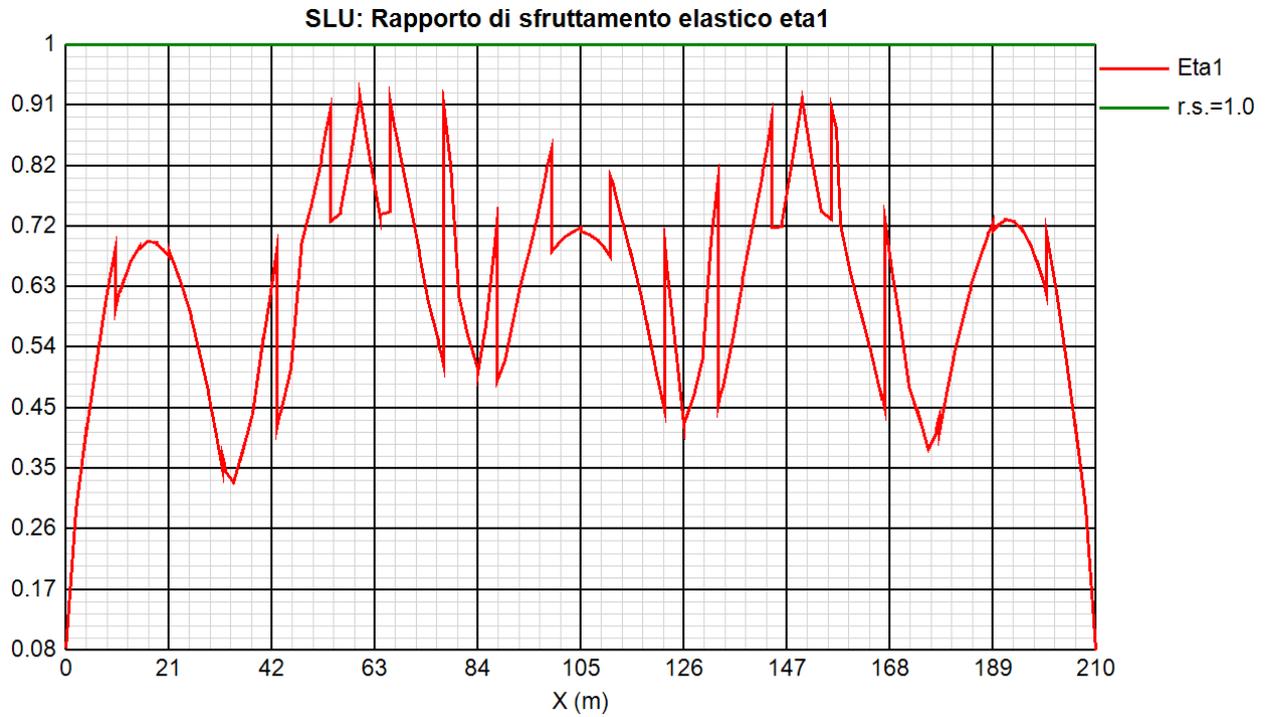
Si rileva che la disequaglianza associata alla formula di interazione presentata poco sopra evidenzia implicitamente che la formula non è applicabile (non vi è interazione) qualora il momento di progetto sia minore di quello sopportabile dalle sole flange.

Per sezioni in classe 3-4, il momento di progetto  $M_{Ed}$  viene valutato sulla base delle tensioni cumulate nella fibra più sollecitata ( $M_{Ed,eq} = \max | W_{xi} * \sum \sigma_{x,i} |$ ).

A seguire si riporta lo sviluppo delle verifiche nelle sezioni più significative, tramite le singole tabelle prodotte dalla procedura Ponti EC4. Per tutte le altre sezioni si indicheranno in forma grafica e tabellare i coefficienti di utilizzo.



**FILO 000 - 200**

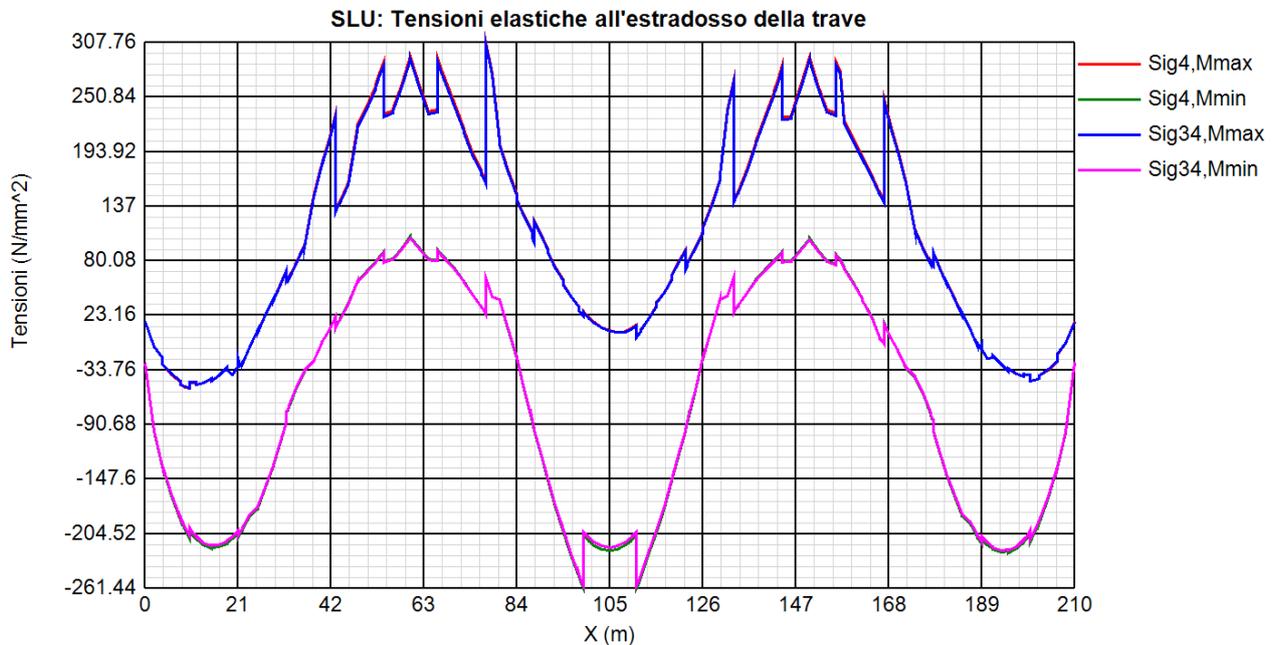
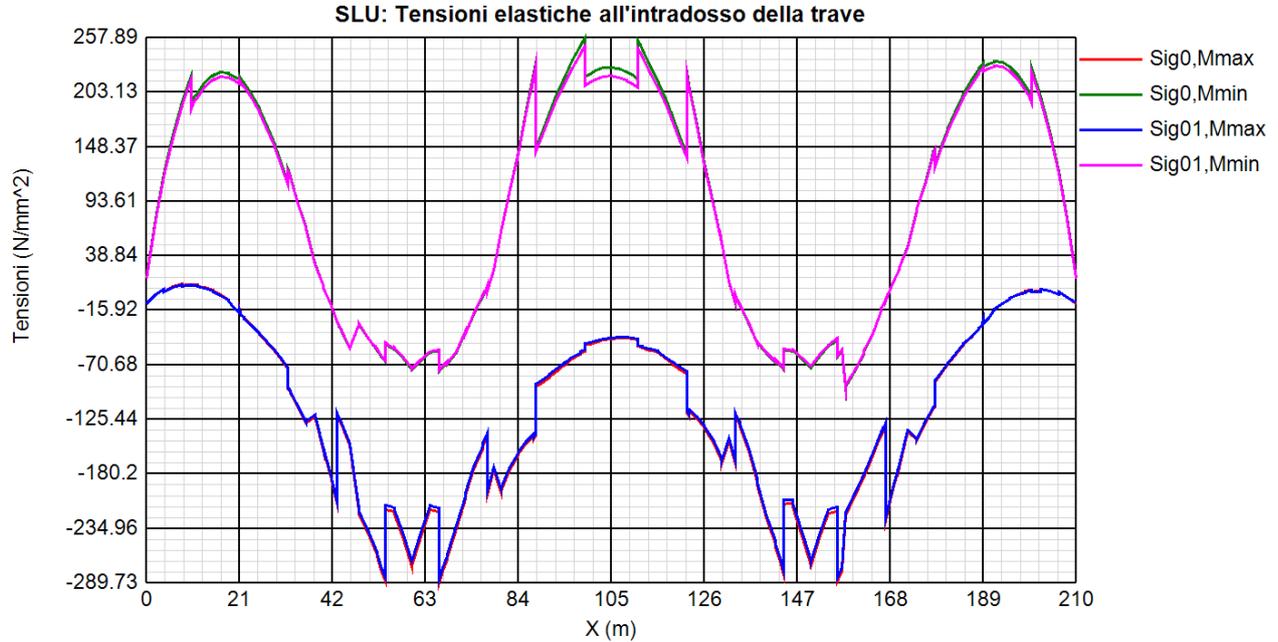
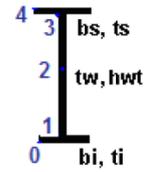


PROGETTAZIONE ATI:

Grafici delle tensioni allo SLU

Sig0, Sig01 = tensioni intradosso elemento (punti 0 e 1 della figura)

Sig4, Sig34 = tensioni estradosso elemento (punti 4 e 3 della figura)



VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Si riportano infine di seguito, a titolo puramente illustrativo, alcune delle verifiche estese per le sezioni resistenti più significative delle travi principali; per le verifiche estese di tutte le aste in tutte le condizioni di carico si rimanda, per ovvie esigenze di contenimento della dimensione del presente documento, agli allegati di calcolo alla presente relazione disponibili su supporto informatico.

**FILO 000 - 200**

**Sezione T1N001I T1N001I**

**Caratteristiche generali**

**Dati principali**

Altezza della sezione di acciaio	2750 mm
Piattabanda superiore	600x30 mm
Piattabanda inferiore	1000x50 mm
Anima	20x2670 mm, Inclinazione: 0
Soletta	5500x240 mm
Raccordo	600x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 20/m

**Irrigidenti verticali**

Interasse	4000 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	250x18 mm
Piatto 2	---

**Irrigidenti longitudinali dell'anima**

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1000 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	0 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 200x15 mm, verticali 0x0 mm

**Caratteristiche geometriche lorde**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	1.214E+	2.12E+	2.12E+	2.12E+	3.44E+	1.325E+
z <sub>G</sub> (mm)	1025.03	1824.89	1824.89	1824.89	2237.50	1179.47
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.413E+1	3.235E+1	3.235E+1	3.235E+1	4.182E+1	1.761E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.378E+	-1.773E+	-1.773E+	-1.773E+	-1.869E+	-1.493E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.449E+	-1.823E+	-1.823E+	-1.823E+	-1.912E+	-1.559E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.336E+	3.615E+	3.615E+	3.615E+	8.668E+	1.143E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.191E+	3.497E+	3.497E+	3.497E+	8.16E+	1.121E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.388E+	3.388E+	3.388E+	7.709E+	1.1E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.388E+	3.388E+	3.388E+	7.709E+	1.1E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	2.825E+	2.825E+	2.825E+	5.709E+	9.834E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	2.707E+	2.707E+	2.707E+	5.345E+	9.567E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	5E+	8.999E+	8.999E+	8.999E+	1.106E+	5.772E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.951E+	1.215E+	1.215E+	1.215E+	1.585E+	7.048E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.078E+	1.135E+	1.135E+	1.135E+	1.561E+	4.675E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	9.71E+	9.71E+	9.71E+	1.472E+	1.875E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

**Pre-classificazione**

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

**Caratteristiche plastiche dei singoli componenti**

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
------------	---------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Strato di calcestruzzo superiore	5.122E+	2995.2	302	2970.
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	1.956E+	287	2969.	2780.
Strato di calcestruzzo inferiore	-5.201E+	2779.7	2779.	278
Strato di armatura superiore	2.164E+	297	2970.	2969.
Strato di armatura inferiore	2.164E+	278	2780.	2779.
Raccordo in cls	0E+0	276	278	275
Flangia superiore della trave di acciaio	6.086E+	273	275	272
Anima della trave di acciaio	1.805E+	138	272	5
Flangia inferiore della trave di acciaio	1.595E+	2	5	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>				
	-6.905E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>				
	4.442E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>				
	-5.099E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>				
	2.637E+			

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\epsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.667	0.814	1	0
Flangia inferiore	9.8	0.838	3	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	133.5	0.814	0.347	-1.364	3
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	133.5	0.814	0	-0.221	1
Compressione semplice (N)	133.5	0.814	1	1	4

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)**

**Sollecitazioni (Comb. Mmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	1.46E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	6.36E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	8E+	1.27E+	0E+0
Term.Is	3.86E+		2.56E+	
3	2.28E+	2.08E+	8.62E+	0E+0
Total	4.09E+	4.26E+	3.91E+	0E+0

**Pressoflessione - Analisi plastica**

**Classificazione della sezione (Comb. Mmax)**

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	133.	672.7	0.2	-1.9	
Piattabanda superiore	9.6				
Piattabanda inferiore	9.				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed}$ (N)	4.093E+6	$M_{Ed}$ (Nm)	3.912E+6	$N_{Ed}$ (N)	4.093E+6
$N_{Rd}$ (N)	4.442E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	4.728E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	3.912E+6
				$M_{Rd}$ (Nm)	4.149E+7
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0.092	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.083	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.094
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

**Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde**

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$											0.		0.	0.00
$\sigma_7$									17.	12.	0.	2.	18.	0.04
$\sigma_6$									16.	11.	0.	2.	1	0.04
$\sigma_5$									-0.		0.		-0.	0.01
$\sigma_4$									15.	11.	0.	2.	16.	0.04
$\sigma_3$									15.	11.	0.	2.	16.	0.04
$\sigma_2$									11.		0.	1.	11.	0.03
$\sigma_1$									-8.	-8.	0.	1.	-8.	0.02
$\sigma_0$									-9.	-8.	0.	1.	-	0.02

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.049 VERIFICA SODDISFATTA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.15 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -0.21 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

**Resistenza a taglio**

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=133.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 65.522 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  **$V_{b,Rd}=6.237E+6$  N**

Essendo:

$$a/h_w=1.498, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=3.809E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau,sl}=6.188, \quad K_\tau=9.718$$

contributo anima:  $V_{bw,Rd}=5.87E+6$  N, contributo flange:  $V_{bf,Rd}=3.671E+5$  N  
 $\chi_w=0.59, \quad \lambda_w=1.407, \quad \tau_{cr}=103.6, \quad C=1105.9$   
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.362E+7$  Nm,  $M_{f,Rd}=1.994E+7$  Nm,  $M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.683$

Resistenza plastica:  **$V_{pl,Rd}=1.251E+7$  N**

Resistenza a taglio:  **$V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=6.237E+6$  N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.683, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.726, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.049$$

**Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)**

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)**

**Sollecitazioni (Comb. Mmin)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	1.46E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	6.36E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	-1.37E+	-1.48E+	0E+0
Rit.Is	-4.72E+		-5.08E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-8E+	-1.27E+	0E+0
Term.Is	-3.86E+		-2.56E+	

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

3	-2.28E+	-8.91E+	-5.17E+	0E+0
Total	-8.82E+	9.92E+	-1.04E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Mmin)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Classe
Anima	133.	2144.4	0.2	-0.6	
Piattabanda superiore	9.6				
Piattabanda inferiore	9.				
classe della sezione					
Analisi plastica: APPLICABILE					

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	-8.816E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.044E+7	N <sub>Ed</sub> (N)	-8.816E+6
N <sub>Rd</sub> (N)	-6.905E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-7.229E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.044E+7
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-7.431E+7
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.128	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.144	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.14
VERIFICA SODDISFATTA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>				0.							-0.			
σ <sub>7</sub>				-45.	-15.			-15.	-17.	-12.	-0.	-2.	-30.	0.07
σ <sub>6</sub>				-41.	-13.			-13.	-16.	-11.	-0.	-2.	-27.	0.06
σ <sub>5</sub>				1.					0.		-0.			
σ <sub>4</sub>				-4	-13.			-13.	-15.	-11.	-0.	-2.	-26.	0.07
σ <sub>3</sub>				-40.	-1			-1	-15.	-11.	-0.	-2.	-26.	0.07
σ <sub>2</sub>				-22.					-11.		-0.	-1.	-1.	0.00
σ <sub>1</sub>				13.	9.			9.	8.	8.	-0.	-1.	16.	0.05
σ <sub>0</sub>				14.	9.			9.	9.	8.	-0.	-1.	1	0.05

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.079 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.78 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.07 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.63 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.28 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=133.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=65.522 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V<sub>b,Rd</sub>=6.531E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.498, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=3.809E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=6.188, \quad K_\tau=9.718$$

contributo anima: V<sub>bw,Rd</sub>=5.87E+6 N, contributo flange: V<sub>bf,Rd</sub>=6.611E+5 N

$$\chi_w=0.59, \quad \lambda_w=1.407, \quad \tau_{cr}=103.6, \quad C=1105.9$$

$$M_{Ed}=-1.044E+7 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=-5.232E+7 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.2$$

Resistenza plastica: **V<sub>pl,Rd</sub>=1.251E+7 N**

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 6.531E+6 \text{ N}$

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.152, \quad (=) \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.169, \quad \eta_1 = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.14$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)**

**Sollecitazioni (Comb. Vmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	1.46E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	6.73E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	8E+	1.27E+	0E+0
Term.Is	3.86E+		2.56E+	
3	2.28E+	2.69E+	5.03E+	0E+0
Total	4.09E+	4.91E+	3.88E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Vmax)**

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	133.	672.7	0.2	-1.9	
Piattabanda superiore	9.6				
Piattabanda inferiore	9.				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed}$ (N)	4.093E+6	$M_{Ed}$ (Nm)	3.876E+6	$N_{Ed}$ (N)	4.093E+6
$N_{Rd}$ (N)	4.442E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	4.728E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	3.876E+6
				$M_{Rd}$ (Nm)	4.149E+7
$N_{Ed} / N_{Rd}$	0.092	$M_{Ed} / M_{Rd}$	0.082	$M_{Ed} / M_{Rd}$	0.093

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$											0.		0.	0.00
$\sigma_7$									17.	12.	0.	2.	18.	0.04
$\sigma_6$									16.	11.	0.	2.	16.	0.04
$\sigma_5$									-0.		0.		-0.	0.01
$\sigma_4$									15.	11.	0.	2.	16.	0.04
$\sigma_3$									15.	11.	0.	2.	16.	0.04
$\sigma_2$									11.		0.	1.	11.	0.03
$\sigma_1$									-8.	-8.	0.	1.	-8.	0.02
$\sigma_0$									-9.	-8.	0.	1.	-8.	0.02

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.049 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.14 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -0.22 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=133.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 65.522 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd} = 6.239E+6 \text{ N}$

Essendo:

$$a/h_w=1.498, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=3.809E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau,sl}=6.188, \quad K_\tau=9.718$$

contributo anima:  $V_{bw,Rd}=5.87E+6 \text{ N}$ , contributo flange:  $V_{bf,Rd}=3.687E+5 \text{ N}$   
 $\chi_w=0.59, \quad \lambda_w=1.407, \quad \tau_{cr}=103.6, \quad C=1105.9$   
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.359E+7 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=1.994E+7 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.681$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd} = 1.251E+7 \text{ N}$

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 6.239E+6 \text{ N}$

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.787, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.836, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.049$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

**Sollecitazioni (Comb. Vmin)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	1.08E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	3.94E+	0E+0	0E+0
2	0E+0	-1.37E+	-1.48E+	0E+0
Rit.Is	-4.72E+		-5.08E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-8E+	-1.27E+	0E+0
Term.Is	-3.86E+		-2.56E+	
3	-2.28E+	-9.41E+	-4.34E+	0E+0
Total	-8.82E+	3.2E+	-1.04E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Vmin)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Classe
Anima	133.	2144.4	0.2	-0.6	
Piattabanda superiore	9.6				
Piattabanda inferiore	9.				
classe della sezione					

Analisi plastica: APPLICABILE

PROGETTAZIONE ATI:

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	-8.816E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.043E+7	N <sub>Ed</sub> (N)	-8.816E+6
N <sub>Rd</sub> (N)	-6.905E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-7.229E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.043E+7
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-7.431E+7
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.128	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.144	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.14
VERIFICA SODDISFATTA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>				0.							-0.			
σ <sub>7</sub>				-45.	-15.			-15.	-17.	-12.	-0.	-2.	-30.	0.07
σ <sub>6</sub>				-41.	-13.			-13.	-16.	-11.	-0.	-2.	-27.	0.06
σ <sub>5</sub>				1.					0.		-0.			
σ <sub>4</sub>				-4	-13.			-13.	-15.	-11.	-0.	-2.	-26.	0.07
σ <sub>3</sub>				-40.	-1			-1	-15.	-11.	-0.	-2.	-26.	0.07
σ <sub>2</sub>				-22.					-11.		-0.	-1.	-1.	0.00
σ <sub>1</sub>				13.	9.			9.	8.	8.	-0.	-1.	16.	0.05
σ <sub>0</sub>				14.	9.			9.	9.	8.	-0.	-1.	1	0.05

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.079 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.78 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.07 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.64 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.29 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=133.5 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 65.522 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V<sub>b,Rd</sub>=6.531E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.498, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=3.809E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=6.188, \quad K_\tau=9.718$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=5.87E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=6.611E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.59, \quad \lambda_w=1.407, \quad \tau_{cr}=103.6, \quad C=1105.9$$

$$M_{Ed}=-1.043E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-5.232E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.199$$

Resistenza plastica: **V<sub>pl,Rd</sub>=1.251E+7 N**

Resistenza a taglio: **V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>)=6.531E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.049, \quad (=) \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.054, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.14$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

PROGETTAZIONE ATI:

## Sezione T1N009I T1N009I

### Caratteristiche generali

#### Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3116 mm
Piattabanda superiore	600x30 mm
Piattabanda inferiore	1000x60 mm
Anima	18x3026 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6000x240 mm
Raccordo	600x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

#### Irrigidenti verticali

Interasse	3500 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	250x18 mm
Piatto 2	---

#### Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1000 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2900 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 200x15 mm, verticali 0x0 mm

#### Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	1.325E+	2.313E+	2.313E+	2.313E+	3.753E+	1.445E+
Z <sub>G</sub> (mm)	1081.74	2013.63	2013.63	2013.63	2494.2	1261.9
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.945E+1	4.643E+1	4.643E+1	4.643E+1	6.042E+1	2.461E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.798E+	-2.306E+	-2.306E+	-2.306E+	-2.422E+	-1.951E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.904E+	-2.377E+	-2.377E+	-2.377E+	-2.482E+	-2.048E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.704E+	4.33E+	4.33E+	4.33E+	1.021E+	1.349E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.561E+	4.212E+	4.212E+	4.212E+	9.717E+	1.328E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.1E+	4.1E+	4.1E+	9.27E+	1.307E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.1E+	4.1E+	4.1E+	9.27E+	1.307E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.511E+	3.511E+	3.511E+	7.177E+	1.187E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.383E+	3.383E+	3.383E+	6.775E+	1.159E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.31E+	1.19E+	1.19E+	1.19E+	1.479E+	7.392E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.25E+	1.534E+	1.534E+	1.534E+	2.012E+	8.692E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.635E+	1.43E+	1.43E+	1.43E+	1.98E+	5.698E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	1.234E+	1.234E+	1.234E+	1.871E+	2.387E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

### Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

#### Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	5.587E+	3361.2	338	3336.
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.133E+	324	3335.	3146.
Strato di calcestruzzo inferiore	-5.674E+	3145.7	3145.	314
Strato di armatura superiore	2.36E+	333	3336.	3335.
Strato di armatura inferiore	2.36E+	314	3146.	3145.
Raccordo in cls	0E+0	313	314	311
Flangia superiore della trave di acciaio	6.086E+	310	311	308
Anima della trave di acciaio	1.842E+	157	308	6

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Flangia inferiore della trave di acciaio	1.914E+	3	6
Compressione ultima per la sezione completa	-7.523E+		
Trazione ultima per la sezione completa	4.836E+		
Compressione ultima per la sezione senza anima	-5.681E+		
Trazione ultima per la sezione senza anima	2.995E+		

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\varepsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.7	0.814	1	0
Flangia inferiore	8.183	0.838	2	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\varepsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	168.111	0.814	0.274	-1.518	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	168.111	0.814	0	-0.243	1
Compressione semplice (N)	168.111	0.814	1	1	4

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)**

**Sollecitazioni (Comb. Mmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.3E+	-8.3E+	0E+0
2	0E+0	-1.22E+	-3E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	8E+	-9.16E+	0E+0
Term.Is	3.88E+		2.99E+	
3	-1.53E+	-4.29E+	1.47E+	0E+0
Total	2.35E+	-8E+	5.5E+	0E+0

**Pressoflessione - Analisi plastica**

**Classificazione della sezione (Comb. Mmax)**

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	168.1	695.1	0.2	0.8	
Piattabanda superiore	9.				
Piattabanda inferiore	8.1				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed}$ (N)	2.348E+6	$M_{Ed}$ (Nm)	5.504E+6	$N_{Ed}$ (N)	2.348E+6
$N_{Rd}$ (N)	4.836E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	5.779E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	5.504E+6
				$M_{Rd}$ (Nm)	5.379E+7
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0.049	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.095	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.102
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

**Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde**

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		-0.						-0.	-0.		2.			
$\sigma_7$		-8.	-25.					-8.	13.	-7.	16.	113.	80.	0.20
$\sigma_6$		-7.	-22.					-7.	12.	-	11.	102.	72.	0.18
$\sigma_5$		-0.						-0.	-0.		1.			

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_4$	-86.	-7.	-22.				-93.	12.	-6.	11.	100.	-15.	0.04
$\sigma_3$	-85.	-6.	-22.				-92.	12.	-6.	10.	98.	-1	0.04
$\sigma_2$								10.		-4.	-10.	-10.	0.03
$\sigma_1$	43.	12.	14.				56.		4.	-63.	-82.	-19.	0.06
$\sigma_0$	46.	1	15.				59.	1.	4.	-64.	-86.	-19.	0.06

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.206 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 =  $-0.53 \text{ N/mm}^2$
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 =  $-0.44 \text{ N/mm}^2$   
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 =  $1.75 \text{ N/mm}^2$
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 =  $0.77 \text{ N/mm}^2$   
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

**Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)**

Componente	b (mm)	t (mm)	$\lambda_p$	$\rho$	$A_{c,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$\beta^k$	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	30	3	--	--	--	--	900
Piattabanda superiore DX	30	3	--	--	--	--	900
Piattabanda inferiore SX	50	6	--	--	--	--	3000
Piattabanda inferiore DX	50	6	--	--	--	--	3000

**Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)**

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	302	97	190	15
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	6.7	65.4	17.0	2529.5
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-27.7	-27.7	-26.6	-24.3
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-24.1	-26.6	-24.3	-24.1
$\psi$	0.8	0.9	0.9	0.9
$K_\sigma$	4.2	4.0	4.1	4.0
$\lambda_p$	3.5	1.1	2.2	0.1
$b_c$ (mm)	302	97	190	15
$b_{c, sup}$ (mm)	1465.1	479.9	930.	77.8
$b_{c, sup}$ (mm)	1560.8	490.0	969.	78.1
$\rho_{loc}$	0.2	0.	0.	
$b_{ceff}$ (mm)	808.6	682.5	768.7	15
$b_{ceff, sup}$ (mm)	391.5	337.7	376.3	77.8
$b_{ceff, sup}$ (mm)	417.0	344.8	392.4	78.1
$\Phi_{Foro}$ (mm)	2217.3	287.4	1131.2	

**Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)**

	A (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	8.64E+	284	1.659E+
$A_c$ 1	2.556E+	189	4.296E+
$A_c$ 2	1.886E+	66	1.725E+
$A_c$ Edge inf	1.407E+	99.	7.159E+
$A_c$ tot	5.447E+	157	4.156E+1
$A_c$	5.042E+		

**Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)**

	A (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	6.079E+	2917.	5.779E+
$A_{c,eff}$ 1	1.298E+	2100.	5.626E+
$A_{c,eff}$ 2	8.465E+	373.	1.56E+
$A_{c,eff}$ Edge inf	1.407E+	99.	7.159E+
$A_{c,eff}$ tot	2.893E+	1669.	3.034E+1
$A_{c,eff,loc}$	2.745E+		

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Mmax)

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
$A_{sl}$ (mm <sup>2</sup> )	2.856E+	2.186E+	5.042E+
$e_{sl}$ (mm)	11.	1	1
$I_{sl}$ (mm <sup>4</sup> )	4.259E+	4.126E+	8.4E+
$A_{sl,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	1.598E+	1.147E+	2.745E+
$e_{sl,eff}$ (mm)	20.	28.	23.
$I_{sl,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	3.93E+	3.655E+	7.628E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)	264.6	756.9	286.9
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)	389.4	14683.	681.5
$\sigma_{cr,sl}$ (c)	252.2	319.3	
$\sigma_{cr,c}$ (c)	371.3		
$\alpha_e$	0.71		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	389.4	$\sigma_{cr,c}$ (c)	0.5
$\beta_{ac}$ (p)	0.54	$\beta_{ac}$ (c)	0.73
$\lambda_p$	0.70	$\lambda_c$	0.66
$\rho_p$	0.99	$\chi_c$	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	A(mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
Edge sup	6.079E+	2917.	5.779E+
1	8.674E+	2100.	3.759E+
2	5.657E+	373.	1.043E+
Edge inf	1.407E+	99.	7.159E+
Totale	2.182E+	1751.	2.444E+1

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	$\Delta A$ (mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	$\Delta J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Anima	-3.265E+	145	-1.597E+1
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	9.982E+	1.986E+	1.986E+	1.986E+	3.426E+	1.119E+
z <sub>G</sub> (mm)	959.96	2105.62	2105.62	2105.62	2593.35	1205.92
$\Delta z_{Geff}$ (mm)	121.7	-91.9	-91.9	-91.9	-99.1	56.0
J <sub>y,eff</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.725E+1	4.364E+1	4.364E+1	4.364E+1	5.495E+1	2.286E+1
W <sub>y,0eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.797E+	-2.073E+	-2.073E+	-2.073E+	-2.119E+	-1.896E+
W <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.917E+	-2.133E+	-2.133E+	-2.133E+	-2.169E+	-1.995E+
W <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.114E+	4.451E+	4.451E+	4.451E+	1.115E+	1.216E+
W <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.002E+	4.319E+	4.319E+	4.319E+	1.051E+	1.197E+
W <sub>y,5eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.195E+	4.195E+	4.195E+	9.943E+	1.178E+
W <sub>y,6eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.195E+	4.195E+	4.195E+	9.943E+	1.178E+
W <sub>y,7eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.547E+	3.547E+	3.547E+	7.399E+	1.073E+
W <sub>y,8eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.408E+	3.408E+	3.408E+	6.933E+	1.049E+
S <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.58E+	1.245E+	1.245E+	1.245E+	1.538E+	7.056E+
S <sub>y,2eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.922E+	1.409E+	1.409E+	1.409E+	1.744E+	9.047E+
S <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.854E+	1.323E+	1.323E+	1.323E+	1.722E+	5.866E+
S <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.321E-29	1.144E+	1.144E+	1.144E+	1.63E+	2.455E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 2 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente  $\psi$

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	14.539
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	6.110

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	0.064
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

**Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-8.567E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-3.843E+	1.515E+

**Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		-0.						-0.	-0.		2.			
$\sigma_7$		-8.	-27.					-8.	13.	-8.	15.	122.	86.	0.2
$\sigma_6$		-7.	-25.					-7.	1	-7.	10.	110.	77.	0.19
$\sigma_5$		-0.						-0.	-0.		1.			
$\sigma_4$	-103.	-6.	-25.					-110.	12.	-7.	9.	108.	-27.	0.08
$\sigma_3$	-102.	-6.	-24.					-10	12.	-7.	8.	106.	-27.	0.08
$\sigma_2$									11.		-4.	-13.	-13.	0.0
$\sigma_1$	43.	14.	1					57.	3.	4.	-7	-8	-24.	0.07
$\sigma_0$	46.	14.	15.					60.	3.	4.	-74.	-90.	-24.	0.07

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.22 VERIFICA SODDISFATTA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = -0.53 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = -0.43 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 1.71 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 0.65 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

**Resistenza a taglio**

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 168.111 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 75.204 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd} = 6.549E+6$  N

Essendo:

$$a/h_w = 1.157, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 6.905E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 18.715, \quad K_\tau = 12.802$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 5.457E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 1.092E+6 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.538, \quad \lambda_w = 1.543, \quad \tau_{cr} = 86.1, \quad C = 990.4$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = -3.324E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 2.829E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = -0.117$$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd} = 1.276E+7$  N

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 6.549E+6$  N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.122, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\lambda_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.147, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.22$$

**Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)**

Valutazione della presenza di interazione

$$\lambda_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)**

PROGETTAZIONE ATI:

**Sollecitazioni (Comb. Mmin)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-4.46E+	-1.12E+	0E+0
2	0E+0	-1.01E+	-6.3E+	0E+0
2	0E+0	-1.37E+	2.37E+	0E+0
Rit.Is	-4.69E+		-5.88E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-8E+	9.16E+	0E+0
Term.Is	-3.88E+		-2.99E+	
3	1.53E+	-2.36E+	-3.04E+	0E+0
Total	-7.04E+	-10E+	-5.35E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Mmin)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Classe
Anima	168.1	2516.7	0.1	-1.0	
Piattabanda superiore	9.				
Piattabanda inferiore	8.1				
classe della sezione					

Analisi plastica: APPLICABILE

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	-7.041E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-5.352E+7	N <sub>Ed</sub> (N)	-7.041E+6
N <sub>Rd</sub> (N)	-7.523E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-9.203E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-5.352E+7
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-9.422E+7
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.094	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.582	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.568

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>		-1.		1.					0.		-6.		-5.	0.30
σ <sub>7</sub>		-17.	-53.	-30.	2			-33.	-13.	7.	-38.	-245.	-99.	0.25
σ <sub>6</sub>		-15.	-48.	-28.	18.			-3	-12.		-28.	-222.	-85.	0.21
σ <sub>5</sub>		-0.		1.					0.		-4.		-3.	0.17
σ <sub>4</sub>	-117.	-14.	-47.	-28.	17.			-146.	-12.	6.	-27.	-218.	-200.	0.59
σ <sub>3</sub>	-115.	-14.	-46.	-28.	17.			-144.	-12.	6.	-25.	-21	-196.	0.58
σ <sub>2</sub>				-20.					-10.		4.	10.	-26.	0.07
σ <sub>1</sub>	58.	26.	30.	-5.	-11.			7	-	-4.	126.	159.	204.	0.64
σ <sub>0</sub>	62.	27.	32.	-5.	-12.			82.	-1.	-4.	129.	166.	212.	0.66

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.666 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.29 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.6 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -5.71 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.34 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=168.111 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=75.204 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd} = 5.882E+6 \text{ N}$

Essendo:

$a/h_w = 1.157$ ,  $\eta = 1.2$ ,  $I_{sl} = 6.905E+7 (\text{mm}^4)$ ,  $K_{\tau sl} = 18.715$ ,  $K_{\tau} = 12.802$   
 contributo anima:  $V_{bw,Rd} = 5.457E+6 \text{ N}$ , contributo flange:  $V_{bf,Rd} = 4.246E+5 \text{ N}$   
 $\chi_w = 0.538$ ,  $\lambda_w = 1.543$ ,  $\tau_{cr} = 86.1$ ,  $C = 990.4$   
 $M_{Ed} = -5.352E+7 \text{ Nm}$ ,  $M_{f,Rd} = -6.817E+7 \text{ Nm}$ ,  $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.785$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd} = 1.276E+7 \text{ N}$

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 5.882E+6 \text{ N}$

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.17, \quad (\Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.183, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.568$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

**Sollecitazioni (Comb. Vmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.3E+	-8.3E+	0E+0
2	0E+0	-5.47E+	-4.47E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	8E+	-9.16E+	0E+0
Term.Is	3.88E+		2.99E+	
3	-1.53E+	1.07E+	-1.73E+	0E+0
Total	2.35E+	7.64E+	-2.8E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Vmax)**

	c/t	$z_{pl} (mm)$	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	168.1	3092.0		-1.2	
Piattabanda superiore	9.				
Piattabanda inferiore	8.1				
classe della sezione					
Analisi plastica: APPLICABILE					

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed} (N)$	2.348E+6	$M_{Ed} (Nm)$	-2.802E+7	$N_{Ed} (N)$	2.348E+6
$N_{Rd} (N)$	4.836E+7	$M_{Rd} (Nm)$	-9.203E+7	$M_{Ed} (Nm)$	-2.802E+7
				$M_{Rd} (Nm)$	-9.063E+7
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0.049	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.304	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.309
VERIFICA SODDISFATTA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_8$		-0.						-0.	-0.		-4.		-6.	0.32
$\sigma_7$		-12.	-37.					-12.	13.	-7.	-28.	-156.	-27.	0.07
$\sigma_6$		-10.	-34.					-10.	12.	-	-22.	-143.	-21.	0.05
$\sigma_5$		-0.						-0.	-0.		-3.		-	0.26
$\sigma_4$	-86.	-10.	-33.					-97.	12.	-6.	-21.	-141.	-106.	0.31
$\sigma_3$	-85.	-10.	-33.					-95.	12.	-6.	-2	-13	-104.	0.30
$\sigma_2$									10.		-4.	-10.	6.	0.01
$\sigma_1$	43.	18.	21.					62.		4.	65.	7	130.	0.40
$\sigma_0$	46.	19.	22.					65.	1.	4.	67.	78.	134.	0.42

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.422 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = -0.8 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = -0.66 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -6.09 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -4.98 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=168.111 > 31/\eta * \epsilon_w *(K_\tau)^{0.5}=75.204 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  **$V_{b,Rd}=6.338E+6$  N**

Essendo:

$a/h_w=1.157, \eta=1.2, I_{sl}=6.905E+7(\text{mm}^4), K_{\tau sl}=18.715, K_\tau=12.802$   
 contributo anima:  $V_{bw,Rd}=5.457E+6$  N, contributo flange:  $V_{bf,Rd}=8.809E+5$  N  
 $\chi_w=0.538, \lambda_w=1.543, \tau_{cr}=86.1, C=990.4$   
 $M_{Ed}=-2.802E+7$  Nm,  $M_{f,Rd}=-6.2E+7$  Nm,  $M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.452$

Resistenza plastica:  **$V_{pl,Rd}=1.276E+7$  N**

Resistenza a taglio:  **$V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=6.338E+6$  N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.121, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.14, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.309$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

**Sollecitazioni (Comb. Vmin)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-4.46E+	-1.12E+	0E+0
2	0E+0	-1.67E+	-4.83E+	0E+0
2	0E+0	-1.37E+	2.37E+	0E+0
Rit.Is	-4.69E+		-5.88E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-8E+	9.16E+	0E+0
Term.Is	-3.88E+		-2.99E+	
3	1.53E+	-5.8E+	6.87E+	0E+0
Total	-7.04E+	-1.41E+	-1.47E+	0E+0

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Vmin)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Classe
Anima	168.1	2516.7	0.1	-0.6	
Piattabanda superiore	9.				
Piattabanda inferiore	8.1				
classe della sezione					

Analisi plastica: APPLICABILE

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	-7.041E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.474E+7	N <sub>Ed</sub> (N)	-7.041E+6
N <sub>Rd</sub> (N)	-7.523E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-9.203E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.474E+7
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-9.422E+7
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.094	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.16	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.156

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>		-0.		1.					0.		2.			
σ <sub>7</sub>		-13.	-40.	-30.	2			-20.	-13.	7.	13.	68.	55.	0.14
σ <sub>6</sub>		-11.	-36.	-28.	18.			-18.	-12.		11.	63.	51.	0.13
σ <sub>5</sub>		-0.		1.					0.		1.			
σ <sub>4</sub>	-117.	-11.	-36.	-28.	17.			-135.	-12.	6.	11.	62.	-66.	0.19
σ <sub>3</sub>	-115.	-11.	-35.	-28.	17.			-133.	-12.	6.	10.	61.	-65.	0.19
σ <sub>2</sub>				-20.					-10.		4.	10.	10.	0.03
σ <sub>1</sub>	58.	20.	23.	-5.	-11.			70.	-	-4.	-23.	-2	43.	0.13
σ <sub>0</sub>	62.	20.	24.	-5.	-12.			74.	-1.	-4.	-24.	-24.	45.	0.14

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.197 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.55 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.81 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.38 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 3.33 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=168.111 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 75.204 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V<sub>b,Rd</sub>=6.513E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.157, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=6.905E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=18.715, \quad K_\tau=12.802$$

contributo anima: V<sub>bw,Rd</sub>=5.457E+6 N, contributo flange: V<sub>bf,Rd</sub>=1.055E+6 N

$$\chi_w=0.538, \quad \lambda_w=1.543, \quad \tau_{cr}=86.1, \quad C=990.4$$

$$M_{Ed}=-1.474E+7 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=-6.817E+7 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.216$$

Resistenza plastica: **V<sub>pl,Rd</sub>=1.276E+7 N**

Resistenza a taglio: **V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>)=6.513E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.217, \quad (=) \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$$
$$\kappa_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.258, \quad \kappa_1 = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.156$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\kappa_3 < 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

PROGETTAZIONE ATI:

## Sezione T1N022I T1N022I

### Caratteristiche generali

#### Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	5250 mm
Piattabanda superiore	1200x60 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	27x5100 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6000x240 mm
Raccordo	1200x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 20/m

#### Irrigidenti verticali

Interasse	4000 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x24 mm
Piatto 2	---

#### Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	2900 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	4200 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 250x20 mm, verticali 0x0 mm

#### Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	3.132E+	4.376E+5	4.376E+	4.376E+	5.817E+	3.509E+
Z <sub>G</sub> (mm)	2375.5	3233.41	3233.41	3233.41	3769.86	2697.80
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.453E+1	2.264E+1	2.264E+1	2.264E+1	2.774E+1	1.756E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-6.116E+	-7.003E+8	-7.003E+	-7.003E+	-7.357E+	-6.509E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-6.357E+	-7.203E+	-7.203E+	-7.203E+	-7.537E+	-6.733E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.162E+	1.157E+	1.157E+	1.157E+	1.953E+	7.046E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.055E+	1.123E+	1.123E+	1.123E+	1.874E+	6.88E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.106E+	1.106E+	1.106E+	1.837E+	6.8E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.106E+	1.106E+	1.106E+	1.837E+	6.8E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.012E+	1.012E+	1.012E+	1.631E+	6.334E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	9.902E+	9.902E+	9.902E+	1.585E+	6.222E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.412E+	3.3E+	3.3E+	3.3E+	3.855E+	2.746E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.117E+	4.634E+	4.634E+	4.634E+	5.683E+	3.664E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.048E+	4.117E+	4.117E+	4.117E+	5.411E+	2.825E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	2.687E+	2.687E+	2.687E+	4.367E+	1.009E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

### Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

#### Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	5.467E+	5495.7	552	5471.5
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.109E+	537	5468.4	5281.5
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.773E+	5279.2	5278.4	528
Strato di armatura superiore	7.376E+	547	5471.5	5468.4
Strato di armatura inferiore	7.376E+	528	5281.5	5278.4
Raccordo in cls	0E+0	526	528	525
Flangia superiore della trave di acciaio	2.297E+	522	525	519
Anima della trave di acciaio	4.656E+	264	519	9

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9
Compressione ultima per la sezione completa	-1.437E+		
Trazione ultima per la sezione completa	1.173E+		
Compressione ultima per la sezione senza anima	-9.713E+		
Trazione ultima per la sezione senza anima	7.074E+		

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\epsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.775	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.239	0.838	1	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	188.889	0.814	0.55	-0.956	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	188.889	0.814	0.166	-0.386	2
Compressione semplice (N)	188.889	0.814	1	1	4

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)**

**Sollecitazioni (Comb. Mmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	3.92E+	6.84E+	0E+0
2	0E+0	1.63E+	2.69E+	0E+0
2	0E+0	8.7E+	1.18E+	0E+0
Rit.Is	-4.69E+		-1.02E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	4.8E+	7.19E+	0E+0
Term.Is	-3.88E+		-6.32E+	
3	2.46E+	3.88E+	5.89E+	0E+0
Total	-6.11E+	9.44E+	1.57E+	0E+0

**Pressoflessione - Analisi plastica**

**Classificazione della sezione (Comb. Mmax)**

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	188.8	3231.9	0.6	-1.1	
Piattabanda superiore	9.7				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed}$ (N)	-6.106E+6	$M_{Ed}$ (Nm)	1.567E+8	$N_{Ed}$ (N)	-6.106E+6
$N_{Rd}$ (N)	-1.437E+8	$M_{Rd}$ (Nm)	2.441E+8	$M_{Ed}$ (Nm)	1.567E+8
				$M_{Rd}$ (Nm)	2.484E+8
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0.042	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.642	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.631

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde**

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		1.		2.					1.		6.			
$\sigma_7$		26.	42.	-9.	18.			61.	-6.	11.	40.	10	172.	0.44
$\sigma_6$		24.	39.	-9.	17.			5	-6.	10.	36.	93.	161.	0.41
$\sigma_5$		1.		2.					1.		5.			

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_4$	135.	2	39.	-9.	17.			191.	-6.	10.	35.	92.	294.	0.92
$\sigma_3$	132.	23.	38.	-9.	16.			187.	-6.	10.	34.	90.	288.	0.90
$\sigma_2$				-10.					-6.		4.			0.02
$\sigma_1$	-107.	-37.	-4	-1	-17.			-165.	-7.	-10.	-73.	-80.	-256.	0.80
$\sigma_0$	-111.	-38.	-41.	-13.	-18.			-171.	-7.	-11.	-75.	-83.	-265.	0.83

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.924 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.35 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.17 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 12.7 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 11.69 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

**Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)**

Componente	b (mm)	t (mm)	$\lambda_p$	$\rho$	$A_{c,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$\beta^k$	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	60	6	--	--	--	--	3600
Piattabanda superiore DX	60	6	--	--	--	--	3600
Piattabanda inferiore SX	57	9	--	--	--	--	5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	--	--	--	--	5175

**Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)**

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	510	284	130	96
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	5.3	17.1	81.9	150.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	288.	288.	-14.9	-153.7
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-256.2	-14.9	-153.7	-256.2
$\psi$	-1.1	-19.2	0.	0.
$K_\sigma$	2	95.6	7.1	4.9
$\lambda_p$	1.5	0.4	0.7	0.6
$b_c$ (mm)	2399.9	139.9	130	96
$b_{c, sup}$ (mm)	1439.9	83.9	769.6	523.6
$b_{c, sup}$ (mm)	959.9	55.9	530.3	436.3
$\rho_{loc}$	0.5			
$b_{ceff}$ (mm)	1427.2	139.9	130	96
$b_{ceff, sup}$ (mm)	856.3	83.9	769.6	523.6
$b_{ceff, sup}$ (mm)	570.8	55.9	530.3	436.3
$\Phi_{Foro}$ (mm)	972.7			

**Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)**

	A (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	2.267E+	244	1.333E+
$A_c$ 1	2.229E+	1993.	1.267E+
$A_c$ 2	2.846E+	1053.	2.634E+
$A_c$ Edge inf	1.178E+	308.	1.87E+
$A_c$ tot	6.48E+	129	3.11E+1
$A_c$	6.075E+		

**Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)**

	A (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	2.267E+	244	1.333E+
$A_{c,eff}$ 1	2.229E+	1993.	1.267E+
$A_{c,eff}$ 2	2.846E+	1053.	2.634E+
$A_{c,eff}$ Edge inf	1.178E+	308.	1.87E+
$A_{c,eff}$ tot	6.48E+	129	3.11E+1
$A_{c,eff,loc}$	6.075E+		

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Mmax)

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
$A_{sl}$ (mm <sup>2</sup> )	2.729E+	3.346E+	6.075E+
$e_{sl}$ (mm)	25.	20.	22.
$I_{sl}$ (mm <sup>4</sup> )	1.057E+	1.093E+	2.154E+
$A_{sl,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	2.729E+	3.346E+	6.075E+
$e_{sl,eff}$ (mm)	25.	20.	22.
$I_{sl,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	1.057E+	1.093E+	2.154E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)	522.3	503.2	467.8
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)	8956.	838.7	835.0
$\sigma_{cr,sl}$ (c)	501.8	423.3	
$\sigma_{cr,c}$ (c)		705.6	
$\alpha_e$	0.67		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	835.0	$\sigma_{cr,c}$ (c)	
$\beta_{ac}$ (p)		$\beta_{ac}$ (c)	0.70
$\lambda_p$	0.65	$\lambda_c$	0.77
$\rho_p$		$\chi_c$	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	A(mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
Edge sup	2.267E+	244	1.333E+
1	1.724E+	1993.	9.795E+
2	2.201E+	1053.	2.037E+
Edge inf	1.178E+	308.	1.87E+
Totale	5.33E+	125	2.728E+1

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	$\Delta A$ (mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	$\Delta J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Anima	-1.15E+	1466.	-3.387E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	3.017E+	4.261E+	4.261E+	4.261E+	5.702E+	3.394E+
z <sub>G</sub> (mm)	2410.23	3281.1	3281.1	3281.1	3816.34	2739.55
$\Delta z_{Geff}$ (mm)	-34.6	-47.	-47.	-47.	-46.4	-41.7
J <sub>y,eff</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.44E+1	2.224E+1	2.224E+1	2.224E+1	2.708E+1	1.735E+1
W <sub>y,0eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-5.973E+	-6.778E+	-6.778E+	-6.778E+	-7.096E+	-6.331E+
W <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-6.205E+	-6.969E+	-6.969E+	-6.969E+	-7.267E+	-6.546E+
W <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.179E+	1.165E+	1.165E+	1.165E+	1.971E+	7.078E+
W <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.07E+	1.13E+	1.13E+	1.13E+	1.889E+	6.909E+
W <sub>y,5eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.113E+	1.113E+	1.113E+	1.85E+	6.828E+
W <sub>y,6eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.113E+	1.113E+	1.113E+	1.85E+	6.828E+
W <sub>y,7eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.016E+	1.016E+	1.016E+	1.638E+	6.353E+
W <sub>y,8eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	9.933E+	9.933E+	9.933E+	1.589E+	6.238E+
S <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.448E+	3.349E+	3.349E+	3.349E+	3.903E+	2.789E+
S <sub>y,2eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.066E+	4.515E+	4.515E+	4.515E+	5.508E+	3.59E+
S <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.023E+	4.023E+	4.023E+	4.023E+	5.253E+	2.779E+
S <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.305E-29	2.627E+	2.627E+	2.627E+	4.242E+	9.935E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente  $\psi$

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	2.888
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

**Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-1.028E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	2.239E+	0E+0	1.802E+	-1.145E+

**Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		1.		2.					1.		6.			
$\sigma_7$		26.	42.	-9.	18.			6	-6.	11.	40.	99.	172.	0.4
$\sigma_6$		24.	39.	-9.	17.			56.	-6.	10.	36.	93.	160.	0.41
$\sigma_5$		1.		2.					1.		5.			
$\sigma_4$	134.	23.	3	-9.	17.			19	-6.	10.	35.	92.	293.	0.92
$\sigma_3$	132.	23.	3	-9.	16.			186.	-6.	10.	34.	90.	287.	0.
$\sigma_2$				-1					-6.		4.	7.	7.	0.02
$\sigma_1$	-110.	-38.	-41.	-13.	-18.			-169.	-8.	-1	-76.	-82.	-26	0.82
$\sigma_0$	-114.	-39.	-42.	-13.	-18.			-175.	-8.	-11.	-78.	-85.	-272.	0.85

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.921 VERIFICA SODDISFATTA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.34 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.15 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 12.67 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 11.63 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

**Resistenza a taglio**

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 188.889 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 88.484 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd} = 1.445E+7$  N

Essendo:

$$a/h_w = 0.784, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 2.04E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 24.901, \quad K_\tau = 17.723$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 1.445E+7 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 0E+00 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.563, \quad \lambda_w = 1.474, \quad \tau_{cr} = 94.4, \quad C = 1080.1$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 2.03E+8 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 1.646E+8 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.233$$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd} = 3.225E+7$  N

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.445E+7$  N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.653, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.653, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.921$$

**Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)**

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

C'E' INTERAZIONE

$$\eta_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{Rd})(2\eta_3 - 1)^2 = 0.952 \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

PROGETTAZIONE ATI:

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)**

**Sollecitazioni (Comb. Mmin)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	2.9E+	5.07E+	0E+0
2	0E+0	1.01E+	1.45E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-4.8E+	-7.19E+	0E+0
Term.Is	3.88E+		6.32E+	
3	-2.46E+	-1.21E+	-1.87E+	0E+0
Total	1.41E+	2.7E+	4.56E+	0E+0

**Pressoflessione - Analisi plastica**

**Classificazione della sezione (Comb. Mmin)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Classe
Anima	188.8	2820.1	0.5	-1.4	
Piattabanda superiore	9.7				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	1.413E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	4.559E+7	N <sub>Ed</sub> (N)	1.413E+6
N <sub>Rd</sub> (N)	1.173E+8	M <sub>Rd</sub> (Nm)	2.441E+8	M <sub>Ed</sub> (Nm)	4.559E+7
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	2.428E+8
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.012	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.187	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.188

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde**

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>		0.							-1.		-2.		-3.	0.18
σ <sub>7</sub>		14.	22.					22.	6.	-11.	-15.	-36.	4.	0.01
σ <sub>6</sub>		13.	21.					21.	6.	-10.	-14.	-34.	4.	0.01
σ <sub>5</sub>		0.							-1.		-2.		-3.	0.17
σ <sub>4</sub>	100.	12.	21.					121.	6.	-10.	-14.	-34.	105.	0.3
σ <sub>3</sub>	98.	12.	20.					118.	6.	-10.	-13.	-33.	103.	0.32
σ <sub>2</sub>									6.		-4.		2.	0.00
σ <sub>1</sub>	-79.	-20.	-21.					-101.	7.	10.	20.	20.	-71.	0.22
σ <sub>0</sub>	-82.	-20.	-22.					-105.	7.	11.	21.	21.	-74.	0.23

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.33 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.88 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.79 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.4 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.22 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

**Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci**

**Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmin)**

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Componente	b (mm)	t (mm)	$\lambda_p$	$\rho$	$A_{c,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$\beta^k$	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	60	6	--	--	--	--	3600
Piattabanda superiore DX	60	6	--	--	--	--	3600
Piattabanda inferiore SX	57	9	--	--	--	--	5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	--	--	--	--	5175

**Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmin)**

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	510	284	130	96
$\sigma_{cr0E}$ (N/mm <sup>2</sup> )	5.3	17.1	81.9	150.2
$\sigma_{sup}$ (N/mm <sup>2</sup> )	103.	103.	5.9	-38.5
$\sigma_{inf}$ (N/mm <sup>2</sup> )	-71.4	5.9	-38.5	-71.4
$\psi$	-1.4	17.4	-0.1	0.5
$K_\sigma$	35.	1E+5		5.1
$\lambda_p$	1.3		0.6	0.6
$b_c$ (mm)	2087.3		1127.3	96
$b_{c, sup}$ (mm)	1252.4		676.4	529.
$b_{c, sup}$ (mm)	834.9		450.9	430.
$\rho_{loc}$	0.6			
$b_{ceff}$ (mm)	1431.7		1127.3	96
$b_{ceff, sup}$ (mm)	859.0		676.4	529.
$b_{ceff, sup}$ (mm)	572.7		450.9	430.
$\phi_{Foro}$ (mm)	655.5			

**Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmin)**

	A (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	1.826E+	1839.	6.963E+
$A_{c,1}$	0E+0		0E+0
$A_{c,2}$	2.647E+	1010.	2.121E+
$A_c$ Edge inf	1.162E+	305.	1.795E+
$A_{c,tot}$	5.636E+	1133.	2.046E+1
$A_c$	3.147E+		

**Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmin)**

	A (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	1.826E+	1839.	6.963E+
$A_{c,eff,1}$	0E+0		0E+0
$A_{c,eff,2}$	2.647E+	1010.	2.121E+
$A_{c,eff}$ Edge inf	1.162E+	305.	1.795E+
$A_{c,eff,tot}$	5.636E+	1133.	2.046E+1
$A_{c,eff,loc}$	3.147E+		

**Tensioni critiche per l'anima (Comb. Mmin)**

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
$A_{sl}$ (mm <sup>2</sup> )	0E+0	3.147E+	3.147E+
$e_{sl}$ (mm)		2	2
$I_{sl}$ (mm <sup>4</sup> )	0E+0	1.083E+	1.083E+
$A_{sl,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	0E+0	3.147E+	3.147E+
$e_{sl,eff}$ (mm)		2	2
$I_{sl,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	0E+0	1.083E+	1.083E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)		530.7	530.7
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)		982.6	982.6
$\sigma_{cr,sl}$ (C)		445.8	
$\sigma_{cr,c}$ (C)		825.5	
$\alpha_e$	0.66		

**Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmin)**

	Piastra	Colonna

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_{cr,p} (p)$	982.6	$\sigma_{cr,c} (c)$	
$\beta_{ac} (p)$		$\beta_{ac} (c)$	0.65
$\lambda_p$	0.60	$\lambda_c$	0.80
$\rho_p$		$\rho_c$	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmin)

	$A(mm^2)$	$z_G (mm)$	$J_y (mm^4)$
Edge sup	1.826E+	1839.	6.963E+
1	0E+0		0E+0
2	2.121E+	1010.	1.699E+
Edge inf	1.162E+	305.	1.795E+
Totale	5.11E+	1146.	1.995E+1

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmin)

	$\Delta A(mm^2)$	$z_G (mm)$	$\Delta J_y (mm^4)$
Anima	-5.262E+	1010.	-4.215E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
$A (mm^2)$	3.079E+	4.324E+	4.324E+	4.324E+	5.764E+	3.456E+
$z_G (mm)$	2398.88	3260.46	3260.46	3260.46	3795.05	2723.4
$\Delta z_{Geff} (mm)$	-23.3	-27.0	-27.0	-27.0	-25.1	-25.6
$J_{y,eff} (mm^4)$	1.442E+1	2.238E+1	2.238E+1	2.238E+1	2.733E+1	1.74E+1
$W_{y,0eff} (mm^3)$	-6.013E+	-6.863E+	-6.863E+	-6.863E+	-7.201E+	-6.39E+
$W_{y,1eff} (mm^3)$	-6.248E+	-7.057E+	-7.057E+	-7.057E+	-7.376E+	-6.608E+
$W_{y,3eff} (mm^3)$	5.168E+	1.16E+	1.16E+	1.16E+	1.959E+	7.056E+
$W_{y,4eff} (mm^3)$	5.059E+	1.125E+	1.125E+	1.125E+	1.878E+	6.888E+
$W_{y,5eff} (mm^3)$	1E+30	1.108E+	1.108E+	1.108E+	1.84E+	6.807E+
$W_{y,6eff} (mm^3)$	1E+30	1.108E+	1.108E+	1.108E+	1.84E+	6.807E+
$W_{y,7eff} (mm^3)$	1E+30	1.013E+	1.013E+	1.013E+	1.632E+	6.337E+
$W_{y,8eff} (mm^3)$	1E+30	9.902E+	9.902E+	9.902E+	1.584E+	6.223E+
$S_{y,1eff} (mm^3)$	2.436E+	3.328E+	3.328E+	3.328E+	3.881E+	2.772E+
$S_{y,2eff} (mm^3)$	3.083E+	4.567E+	4.567E+	4.567E+	5.588E+	3.618E+
$S_{y,3eff} (mm^3)$	2.031E+	4.064E+	4.064E+	4.064E+	5.325E+	2.797E+
$S_{y,4eff} (mm^3)$	4.322E-29	2.653E+	2.653E+	2.653E+	4.299E+	9.996E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente  $\psi$

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	1.709
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata} (kNm)$	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	6.327E+
$\Delta M_{Non fessurata} (kNm)$	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-9.764E+	6.205E+

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		0.							-1.		-2.		-3.	0.18
$\sigma_7$		14.	22.					22.	6.	-11.	-15.	-36.	4.	0.01
$\sigma_6$		13.	21.					21.	6.	-10.	-14.	-34.	4.	0.01
$\sigma_5$		0.							-1.		-2.		-3.	0.17

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_4$	100.	12.	21.				121.	6.	-10.	-14.	-34.	105.	0.32
$\sigma_3$	9	12.	20.				118.	6.	-10.	-13.	-33.	10	0.32
$\sigma_2$								6.		-4.	-7.	2.	0.00
$\sigma_1$	-81.	-20.	-2				-103.		10.	21.	21.	-72.	0.22
$\sigma_0$	-84.	-21.	-22.				-10	8.	11.	21.	22.	-75.	0.23

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.329 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.88 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.79 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.4 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.22 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=188.889 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=88.484 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd}=1.445E+7$  N

Essendo:

$$a/h_w=0.784, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=2.04E+8(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=24.901, \quad K_\tau=17.723$$

contributo anima:  $V_{bw,Rd}=1.445E+7$  N, contributo flange:  $V_{bf,Rd}=0E+00$  N  
 $\chi_w=0.563, \quad \lambda_w=1.474, \quad \tau_{cr}=94.4, \quad C=1080.1$   
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.973E+8$  Nm,  $M_{f,Rd}=1.753E+8$  Nm,  $M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.126$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd}=3.225E+7$  N

Resistenza a taglio:  $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=1.445E+7$  N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.187, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.187, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.329$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

**Sollecitazioni (Comb. Vmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	3.92E+	6.84E+	0E+0
2	0E+0	1.63E+	2.69E+	0E+0
2	0E+0	8.7E+	1.18E+	0E+0
Rit.Is	-4.69E+		-1.02E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	4.8E+	7.19E+	0E+0
Term.Is	-3.88E+		-6.32E+	
3	2.46E+	4.32E+	4.97E+	0E+0
Total	-6.11E+	9.88E+	1.48E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Vmax)**

	c/t	$Z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	188.8	3231.9	0.6	-1.1	

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Piattabanda superiore	9.7			
Piattabanda inferiore	6.2			
classe della sezione				
Analisi plastica: NON APPLICABILE				

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	-6.106E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	1.476E+8	N <sub>Ed</sub> (N)	-6.106E+6
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.437E+8	M <sub>Rd</sub> (Nm)	2.441E+8	M <sub>Ed</sub> (Nm)	1.476E+8
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	2.484E+8
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.042	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.605	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.594
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

*Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde*

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>		1.		2.					1.		5.			
σ <sub>7</sub>		26.	42.	-9.	18.			61.	-6.	11.	34.	85.	15	0.40
σ <sub>6</sub>		24.	39.	-9.	17.			5	-6.	10.	31.	80.	147.	0.37
σ <sub>5</sub>		1.		2.					1.					
σ <sub>4</sub>	135.	2	39.	-9.	17.			191.	-6.	10.	30.	79.	281.	0.88
σ <sub>3</sub>	132.	23.	38.	-9.	16.			187.	-6.	10.	29.	77.	275.	0.86
σ <sub>2</sub>				-10.					-6.		4.			0.02
σ <sub>1</sub>	-107.	-37.	-4	-1	-17.			-165.	-7.	-10.	-61.	-66.	-242.	0.76
σ <sub>0</sub>	-111.	-38.	-41.	-13.	-18.			-171.	-7.	-11.	-63.	-69.	-251.	0.78

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.882 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.35 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.17 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 11.77 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 10.89 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

*Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci*

**Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmax)**

Componente	b (mm)	t (mm)	λ <sub>p</sub>	ρ	A <sub>c,eff</sub> (mm <sup>2</sup> )	β <sup>k</sup>	A <sub>c,eff</sub> *β <sup>k</sup> (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	60	6	-	-	-	-	3600
Piattabanda superiore DX	60	6	-	-	-	-	3600
Piattabanda inferiore SX	57	9	-	-	-	-	5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	-	-	-	-	5175

**Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmax)**

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	510	284	130	96
σ <sub>cr0E</sub> ( N/mm <sup>2</sup> )	5.3	17.1	81.9	150.2
σ <sub>sup</sub> ( N/mm <sup>2</sup> )	275.2	275.2	-13.1	-145.1
σ <sub>inf</sub> ( N/mm <sup>2</sup> )	-242.6	-13.1	-145.1	-242.6
ψ	-1.1	-20.9	0.0	0.
K <sub>σ</sub>	27.2	95.6	7.1	4.9
λ <sub>p</sub>	1.5	0.4	0.7	0.6
b <sub>c</sub> (mm)	2389.2	129.2	130	96
b <sub>c sup</sub> (mm)	1433.5	77.5	770.4	523.8
b <sub>c sup</sub> (mm)	955.7	51.7	529.5	436.1

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\rho_{loc}$	0.			
$b_{ceff}$ (mm)	1427.2	129.2	130	96
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	856.3	77.5	770.4	523.8
$b_{ceff\ sup}$ (mm)	570.9	51.7	529.5	436.1
$\phi_{Foro}$ (mm)	961.9			

**Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmax)**

	$A(mm^2)$	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	2.094E+	2440.	1.05E+
$A_c$ 1	2.22E+	1990.	1.25E+
$A_c$ 2	2.844E+	1052.	2.63E+
$A_c$ Edge inf	1.178E+	308.	1.867E+
$A_c$ tot	6.451E+	1284.	3.069E+1
$A_c$	6.064E+		

**Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmax)**

	$A(mm^2)$	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	2.094E+	2440.	1.05E+
$A_{c,eff}$ 1	2.22E+	1990.	1.25E+
$A_{c,eff}$ 2	2.844E+	1052.	2.63E+
$A_{c,eff}$ Edge inf	1.178E+	308.	1.867E+
$A_{c,eff}$ tot	6.451E+	1284.	3.069E+1
$A_{c,eff,loc}$	6.064E+		

**Tensioni critiche per l'anima (Comb. Vmax)**

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
$A_{sl}$ (mm <sup>2</sup> )	2.72E+	3.344E+	6.064E+
$e_{sl}$ (mm)	25.	20.	22.
$I_{sl}$ (mm <sup>4</sup> )	1.057E+	1.093E+	2.153E+
$A_{sl,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	2.72E+	3.344E+	6.064E+
$e_{sl,eff}$ (mm)	25.	20.	22.
$I_{sl,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	1.057E+	1.093E+	2.153E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)	523.8	503.4	468.6
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)	968	841.5	835.4
$\sigma_{cr,sl}$ (C)	503.2	423.5	
$\sigma_{cr,c}$ (C)		708.0	
$\alpha_e$	0.67		

**Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmax)**

	Piastra	Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	835.4	$\sigma_{cr,c}$ (C)
$\beta_{ac}$ (p)		$\beta_{ac}$ (C)
$\lambda_p$	0.65	$\lambda_c$
$\rho_p$		$\chi_c$

**Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmax)**

	$A(mm^2)$	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Edge sup	2.094E+	2440.	1.05E+
1	1.713E+	1990.	9.651E+
2	2.195E+	1052.	2.03E+
Edge inf	1.178E+	308.	1.867E+
Totale	5.296E+	1245.	2.685E+1

**Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmax)**

	$\Delta A(mm^2)$	$z_G$ (mm)	$\Delta J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Anima	-1.155E+	1463.	-3.386E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

**Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmax)**

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	3.017E+	4.261E+	4.261E+	4.261E+	5.701E+	3.393E+
Z <sub>G</sub> (mm)	2410.46	3281.3	3281.3	3281.3	3816.58	2739.80
Δ Z <sub>Geff</sub> (mm)	-34.9	-47.9	-47.9	-47.9	-46.7	-4
J <sub>y,eff</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.44E+1	2.224E+1	2.224E+1	2.224E+1	2.708E+1	1.734E+1
W <sub>y,0eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-5.972E+	-6.777E+	-6.777E+	-6.777E+	-7.094E+	-6.33E+
W <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-6.204E+	-6.968E+	-6.968E+	-6.968E+	-7.265E+	-6.545E+
W <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.179E+	1.165E+	1.165E+	1.165E+	1.971E+	7.079E+
W <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.07E+	1.13E+	1.13E+	1.13E+	1.889E+	6.909E+
W <sub>y,5eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.113E+	1.113E+	1.113E+	1.85E+	6.828E+
W <sub>y,6eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.113E+	1.113E+	1.113E+	1.85E+	6.828E+
W <sub>y,7eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.016E+	1.016E+	1.016E+	1.638E+	6.353E+
W <sub>y,8eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	9.933E+	9.933E+	9.933E+	1.589E+	6.238E+
S <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.448E+	3.35E+	3.35E+	3.35E+	3.904E+	2.789E+
S <sub>y,2eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.066E+	4.515E+	4.515E+	4.515E+	5.507E+	3.59E+
S <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.023E+	4.023E+	4.023E+	4.023E+	5.252E+	2.779E+
S <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.305E-29	2.627E+	2.627E+	2.627E+	4.242E+	9.934E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente  $\psi$

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	2.888
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

**Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmax)**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
ΔM <sub>Fessurata</sub> (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-1.035E+
ΔM <sub>Non fessurata</sub> (kNm)	0E+0	0E+0	2.251E+	0E+0	1.811E+	-1.151E+

**Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>		1.		2.					1.		5.			
σ <sub>7</sub>		26.	42.	-9.	18.			6	-6.	11.	34.	85.	157.	0.40
σ <sub>6</sub>		24.	39.	-9.	17.			56.	-6.	10.	31.	79.	147.	0.37
σ <sub>5</sub>		1.		2.					1.					
σ <sub>4</sub>	134.	23.	3	-9.	17.			19	-6.	10.	30.	79.	280.	0.87
σ <sub>3</sub>	132.	23.	3	-9.	16.			186.	-6.	10.	29.	77.	274.	0.8
σ <sub>2</sub>				-1					-6.		4.	7.	7.	0.02
σ <sub>1</sub>	-110.	-38.	-41.	-13.	-18.			-169.	-8.	-1	-63.	-68.	-24	0.7
σ <sub>0</sub>	-114.	-39.	-42.	-13.	-18.			-175.	-8.	-11.	-65.	-71.	-258.	0.80

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.879 VERIFICA SODDISFATTA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.34 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.15 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 11.74 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 10.84 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

**Resistenza a taglio**

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 188.889 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 88.484 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V<sub>b,Rd</sub> = 1.445E+7 N**

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Essendo:

$a/h_w=0.784$ ,  $\eta=1.2$ ,  $I_{sl}=2.04E+8(mm^4)$ ,  $K_{\tau sl}=24.901$ ,  $K_{\tau}=17.723$   
 contributo anima:  $V_{bw,Rd}=1.445E+7 N$ , contributo flange:  $V_{bf,Rd}=0E+00 N$   
 $\chi_w=0.563$ ,  $\lambda_w=1.474$ ,  $\tau_{cr}=94.4$ ,  $C=1080.1$   
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.938E+8 Nm$ ,  $M_{f,Rd}=1.646E+8 Nm$ ,  $M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.178$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd}=3.225E+7 N$

Resistenza a taglio:  $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=1.445E+7 N$

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.684, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.684, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.879$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

C'E' INTERAZIONE

$$\eta_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{Rd})(2\eta_3 - 1)^2 = 0.925 \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	2.9E+	5.07E+	0E+0
2	0E+0	1.01E+	1.45E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-4.8E+	-7.19E+	0E+0
Term.Is	3.88E+		6.32E+	
3	-2.46E+	-1.21E+	-1.87E+	0E+0
Total	1.41E+	2.7E+	4.56E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	$z_{pl}(mm)$	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	188.8	2820.1	0.5	-1.4	
Piattabanda superiore	9.7				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale	Flessione semplice	Interazione N/M
$N_{Ed}(N)$	$M_{Ed}(Nm)$	$N_{Ed}(N)$
1.413E+6	4.559E+7	1.413E+6
$N_{Rd}(N)$	$M_{Rd}(Nm)$	$M_{Ed}(Nm)$
1.173E+8	2.441E+8	4.559E+7
		$M_{Rd}(Nm)$
		2.428E+8
$N_{Ed}/N_{Rd}$	$M_{Ed}/M_{Rd}$	$M_{Ed}/M_{Rd}$
0.012	0.187	0.188

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_g$		0.							-1.		-2.		-3.	0.18

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_7$		14.	22.				22.	6.	-11.	-15.	-36.	4.	0.01
$\sigma_6$		13.	21.				21.	6.	-10.	-14.	-34.	4.	0.01
$\sigma_5$		0.						-1.		-2.		-3.	0.17
$\sigma_4$	100.	12.	21.				121.	6.	-10.	-14.	-34.	105.	0.3
$\sigma_3$	98.	12.	20.				118.	6.	-10.	-13.	-33.	103.	0.32
$\sigma_2$								6.		-4.	-	2.	0.00
$\sigma_1$	-79.	-20.	-21.				-101.	7.	10.	20.	20.	-71.	0.22
$\sigma_0$	-82.	-20.	-22.				-105.	7.	11.	21.	21.	-74.	0.23

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.33 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.88 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.79 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.4 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.22 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

**Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmin)**

Componente	b (mm)	t (mm)	$\lambda_p$	$\rho$	$A_{c,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$\beta$	$A*\beta$ (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	60	6	--	--	--		3600
Piattabanda superiore DX	60	6	--	--	--		3600
Piattabanda inferiore SX	57	9	--	--	--		5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	--	--	--		5175

**Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmin)**

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	510	284	130	96
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	5.3	17.1	81.9	150.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	103.	103.	5.9	-38.5
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-71.4	5.9	-38.5	-71.4
$\psi$	-1.4	17.4	-0.1	0.5
$K_\sigma$	35.	1E+5		5.1
$\lambda_p$	1.3		0.6	0.6
$b_c$ (mm)	2087.3		1127.3	96
$b_{c, sup}$ (mm)	1252.4		676.4	529.
$b_{c, sup}$ (mm)	834.9		450.9	430.
$\rho_{loc}$	0.6			
$b_{ceff}$ (mm)	1431.7		1127.3	96
$b_{ceff, sup}$ (mm)	859.0		676.4	529.
$b_{ceff, sup}$ (mm)	572.7		450.9	430.
$\phi_{Foro}$ (mm)	655.5			

**Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmin)**

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	1.826E+	1839.	6.963E+
$A_c$ 1	0E+0		0E+0
$A_c$ 2	2.647E+	1010.	2.121E+
$A_c$ Edge inf	1.162E+	305.	1.795E+
$A_c$ tot	5.636E+	1133.	2.046E+1
$A_c$	3.147E+		

**Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmin)**

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	1.826E+	1839.	6.963E+
$A_{c,eff}$ 1	0E+0		0E+0
$A_{c,eff}$ 2	2.647E+	1010.	2.121E+

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$A_{c,eff}$ Edge inf	1.162E+	305.	1.795E+
$A_{c,eff}$ tot	5.636E+	1133.	2.046E+1
$A_{c,eff,loc}$	3.147E+		

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Vmin)

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
$A_{sl}$ (mm <sup>2</sup> )	0E+0	3.147E+	3.147E+
$e_{sl}$ (mm)		2	2
$I_{sl}$ (mm <sup>4</sup> )	0E+0	1.083E+	1.083E+
$A_{sl,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	0E+0	3.147E+	3.147E+
$e_{sl,eff}$ (mm)		2	2
$I_{sl,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	0E+0	1.083E+	1.083E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)		530.7	530.7
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)		982.6	982.6
$\sigma_{cr,sl}$ (c)		445.8	
$\sigma_{cr,c}$ (c)		825.5	
$\alpha_e$	0.66		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmin)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	982.6	$\sigma_{cr,c}$ (c)	
$\beta_{ac}$ (p)		$\beta_{ac}$ (c)	0.65
$\lambda_p$	0.60	$\lambda_c$	0.80
$\rho_p$		$\chi_c$	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmin)

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Edge sup	1.826E+	1839.	6.963E+
1	0E+0		0E+0
2	2.121E+	1010.	1.699E+
Edge inf	1.162E+	305.	1.795E+
Totale	5.11E+	1146.	1.995E+1

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmin)

	$\Delta A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$\Delta J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Anima	-5.262E+	1010.	-4.215E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
$A$ (mm <sup>2</sup> )	3.079E+	4.324E+	4.324E+	4.324E+	5.764E+	3.456E+
$z_G$ (mm)	2398.88	3260.46	3260.46	3260.46	3795.05	2723.4
$\Delta z_{Geff}$ (mm)	-23.3	-27.0	-27.0	-27.0	-25.1	-25.6
$J_{y,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	1.442E+1	2.238E+1	2.238E+1	2.238E+1	2.733E+1	1.74E+1
$W_{y,0eff}$ (mm <sup>3</sup> )	-6.013E+	-6.863E+	-6.863E+	-6.863E+	-7.201E+	-6.39E+
$W_{y,1eff}$ (mm <sup>3</sup> )	-6.248E+	-7.057E+	-7.057E+	-7.057E+	-7.376E+	-6.608E+
$W_{y,3eff}$ (mm <sup>3</sup> )	5.168E+	1.16E+	1.16E+	1.16E+	1.959E+	7.056E+
$W_{y,4eff}$ (mm <sup>3</sup> )	5.059E+	1.125E+	1.125E+	1.125E+	1.878E+	6.888E+
$W_{y,5eff}$ (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.108E+	1.108E+	1.108E+	1.84E+	6.807E+
$W_{y,6eff}$ (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.108E+	1.108E+	1.108E+	1.84E+	6.807E+
$W_{y,7eff}$ (mm <sup>3</sup> )	1E+30	1.013E+	1.013E+	1.013E+	1.632E+	6.337E+
$W_{y,8eff}$ (mm <sup>3</sup> )	1E+30	9.902E+	9.902E+	9.902E+	1.584E+	6.223E+
$S_{y,1eff}$ (mm <sup>3</sup> )	2.436E+	3.328E+	3.328E+	3.328E+	3.881E+	2.772E+
$S_{y,2eff}$ (mm <sup>3</sup> )	3.083E+	4.567E+	4.567E+	4.567E+	5.588E+	3.618E+
$S_{y,3eff}$ (mm <sup>3</sup> )	2.031E+	4.064E+	4.064E+	4.064E+	5.325E+	2.797E+
$S_{y,4eff}$ (mm <sup>3</sup> )	4.322E-29	2.653E+	2.653E+	2.653E+	4.299E+	9.996E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente  $\psi$

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	1.709
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	6.327E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-9.764E+	6.205E+

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		0.							-1.		-2.		-3.	0.18
$\sigma_7$		14.	22.					22.	6.	-11.	-15.	-36.	4.	0.01
$\sigma_6$		13.	21.					21.	6.	-10.	-14.	-34.	4.	0.01
$\sigma_5$		0.							-1.		-2.		-3.	0.17
$\sigma_4$	100.	12.	21.					121.	6.	-10.	-14.	-34.	105.	0.32
$\sigma_3$	9	12.	20.					118.	6.	-10.	-13.	-33.	10	0.32
$\sigma_2$									6.		-4.	-7.	2.	0.00
$\sigma_1$	-81.	-20.	-2					-103.		10.	21.	21.	-72.	0.22
$\sigma_0$	-84.	-21.	-22.					-10	8.	11.	21.	22.	-75.	0.23

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.329 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.88 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.79 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.4 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -3.22 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 188.889 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 88.484 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd} = 1.445E+7$  N

Essendo:

$$a/h_w = 0.784, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 2.04E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 24.901, \quad K_\tau = 17.723$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 1.445E+7 \text{ N, contributo flange: } V_{bf,Rd} = 0E+00 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.563, \quad \lambda_w = 1.474, \quad \tau_{cr} = 94.4, \quad C = 1080.1$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.973E+8 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 1.753E+8 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.126$$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd} = 3.225E+7$  N

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.445E+7$  N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.187, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.187, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.329$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

PROGETTAZIONE ATI:

## Sezione T1N038I T1N038I

### Caratteristiche generali

#### Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	2750 mm
Piattabanda superiore	800x40 mm
Piattabanda inferiore	1150x110 mm
Anima	20x2600 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6000x240 mm
Raccordo	800x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 50 mm
Armatura inferiore	diametro 16 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

#### Irrigidenti verticali

Interasse	3500 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	250x18 mm
Piatto 2	---

#### Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1000 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	0 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 200x15 mm, verticali 0x0 mm

#### Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	2.105E+	3.093E+	3.093E+	3.093E+	4.533E+	2.226E+
Z <sub>G</sub> (mm)	796.37	1467.41	1467.41	1467.41	1922.54	909.04
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	2.382E+11	5.354E+1	5.354E+1	5.354E+1	7.378E+1	2.876E+1
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-2.991E+	-3.649E+	-3.649E+	-3.649E+	-3.838E+	-3.164E+
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.47E+	-3.944E+	-3.944E+	-3.944E+	-4.07E+	-3.599E+
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.245E+	4.309E+	4.309E+	4.309E+	9.369E+	1.597E+
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.219E+	4.175E+	4.175E+	4.175E+	8.916E+	1.562E+
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.079E+	4.079E+	4.079E+	8.604E+	1.537E+
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.079E+	4.079E+	4.079E+	8.604E+	1.537E+
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.563E+	3.563E+	3.563E+	7.044E+	1.395E+
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.449E+	3.449E+	3.449E+	6.723E+	1.362E+
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.378E+	1.787E+	1.787E+	1.787E+	2.362E+	1.08E+
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.85E+	1.971E+	1.971E+	1.971E+	2.691E+	1.144E+
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.188E+	1.817E+	1.817E+	1.817E+	2.629E+	8.199E+
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	0E+0	1.413E+	1.413E+	1.413E+	2.371E+	2.372E+
n <sub>E</sub>	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

### Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

#### Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	5.587E+	2995.2	302	2970.
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.133E+	287	2969.	2780.
Strato di calcestruzzo inferiore	-5.674E+	2779.7	2779.	278
Strato di armatura superiore	2.36E+	297	2970.	2969.
Strato di armatura inferiore	2.36E+	278	2780.	2779.
Raccordo in cls	0E+0	276	278	275
Flangia superiore della trave di acciaio	1.082E+	273	275	271
Anima della trave di acciaio	1.758E+	141	271	11

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Flangia inferiore della trave di acciaio	4.036E+	5	11
Compressione ultima per la sezione completa	-1.003E+		
Trazione ultima per la sezione completa	7.348E+		
Compressione ultima per la sezione senza anima	-8.276E+		
Trazione ultima per la sezione senza anima	5.59E+		

**Classificazione delle piattabande**

	c/t	$\varepsilon$	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.75	0.814	1	0
Flangia inferiore	5.136	0.838	1	1

**Classificazione dell'anima**

	c/t	$\varepsilon$	$\alpha$	$\psi$	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	130	0.814	0	-2.254	1
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	130	0.814	0.442	-0.434	4
Compressione semplice (N)	130	0.814	1	1	4

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)**

**Sollecitazioni (Comb. Mmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	8.3E+	-1.48E+	0E+0
2	0E+0	2.2E+	-6.8E+	0E+0
2	0E+0	8.7E+	8.05E+	0E+0
Rit.Is	-4.69E+		-6.72E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	4.8E+	4.53E+	0E+0
Term.Is	-3.88E+		-3.79E+	
3	-4.08E+	1.71E+	1.76E+	0E+0
Total	-1.26E+	1.95E+	-1.98E+	0E+0

**Pressoflessione - Analisi plastica**

**Classificazione della sezione (Comb. Mmax)**

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	13	625.9	0.	-0.2	
Piattabanda superiore	9.7				
Piattabanda inferiore	5.1				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed}$ (N)	-1.265E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	-1.978E+6	$N_{Ed}$ (N)	-1.265E+7
$N_{Rd}$ (N)	-1.003E+8	$M_{Rd}$ (Nm)	-1.272E+8	$M_{Ed}$ (Nm)	-1.978E+6
				$M_{Rd}$ (Nm)	-1.167E+8
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0.126	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.016	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.017

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde**

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		-1.		2.					1.		2.			
$\sigma_7$		-19.	-48.	-11.	57.			8.	-7.	32.	15.	107.	14	0.38
$\sigma_6$		-16.	-44.	-11.	52.			8.	-7.	29.	11.	95.	133.	0.34
$\sigma_5$		-		2.					1.		1.			

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_4$	-121.	-16.	-43.	-1	51.			-113.	-7.	2	10.	94.	9.	0.02
$\sigma_3$	-11	-15.	-42.	-12.	50.			-111.	-7.	28.	9.	91.	8.	0.02
$\sigma_2$				-15.					-8.			-18.	-18.	0.05
$\sigma_1$	42.	17.	18.	-18.	-22.			39.	-10.	-12.	-52.	-67.	-40.	0.12
$\sigma_0$	49.	18.	21.	-18.	-25.			45.	-10.	-14.	-54.	-73.	-42.	0.13

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.381 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.39 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.54 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 5.63 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.83 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

**Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)**

Componente	b (mm)	t (mm)	$\lambda_p$	$\rho$	$A_{c,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$\beta^k$	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	40	4	--	--	--	--	1600
Piattabanda superiore DX	40	4	--	--	--	--	1600
Piattabanda inferiore SX	57	11	--	--	--	--	6325
Piattabanda inferiore DX	57	11	--	--	--	--	6325

**Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)**

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2
b (mm)	260	96	164
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	11.2	82.4	28.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	6.8	6.8	-11.
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-42.2	-11.	-42.2
$\psi$	-0.1	-0.	0.2
$K_\sigma$	9.0	15.1	6.2
$\lambda_p$	1.8	0.5	1.4
$b_c$ (mm)	2238.6	598.6	164
$b_{c, sup}$ (mm)	1343.1	359.1	946.9
$b_{c, sup}$ (mm)	895.4	239.4	693.0
$\rho_{loc}$	0.4		0.6
$b_{ceff}$ (mm)	1099.9	598.6	1008.3
$b_{ceff, sup}$ (mm)	659.9	359.1	582.2
$b_{ceff, sup}$ (mm)	439.9	239.4	426.1
$\Phi_{Foro}$ (mm)	1138.6		631.6

**Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)**

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	7.183E+	216	7.722E+
$A_c$ 1	2.373E+	1396.	2.783E+
$A_c$ 2	0E+0		0E+0
$A_c$ Edge inf	1.386E+	456.	5.548E+
$A_c$ tot	4.477E+	1229.	1.87E+1
$A_c$	2.673E+		

**Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)**

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	7.183E+	216	7.722E+
$A_{c,eff}$ 1	1.643E+	1578.	9.245E+
$A_{c,eff}$ 2	0E+0		0E+0
$A_{c,eff}$ Edge inf	8.523E+	323.	1.29E+
$A_{c,eff}$ tot	3.214E+	1377.	1.577E+1
$A_{c,eff,loc}$	1.943E+		

PROGETTAZIONE ATI:

**Tensioni critiche per l'anima (Comb. Mmax)**

	Stiffener 1
$A_{sl}$ (mm <sup>2</sup> )	2.673E+
$e_{sl}$ (mm)	12.
$I_{sl}$ (mm <sup>4</sup> )	4.302E+
$A_{sl,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	1.943E+
$e_{sl,eff}$ (mm)	1
$I_{sl,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	4.124E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)	294.7
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)	1102.
$\sigma_{cr,sl}$ (c)	272.3
$\sigma_{cr,c}$ (c)	1018.3
$\alpha_e$	0.70

**Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)**

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	1102.	$\sigma_{cr,c}$ (c)	0.72
$\beta_{ac}$ (p)	0.72	$\beta_{ac}$ (c)	0.50
$\lambda_p$	0.48	$\lambda_c$	0.82
$\rho_p$		$\chi_c$	

**Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)**

	A(mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
Edge sup	7.183E+	216	7.722E+
1	1.35E+	1578.	7.596E+
2	0E+0		0E+0
Edge inf	8.523E+	323.	1.29E+
Totale	2.921E+	1357.	1.548E+1

**Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)**

	$\Delta A$ (mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	$\Delta J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Anima	-1.556E+	988.	-1.841E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

**Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	1.949E+	2.937E+	2.937E+	2.937E+	4.378E+	2.07E+
z <sub>G</sub> (mm)	781.01	1492.77	1492.77	1492.77	1955.73	903.04
$\Delta z_{Geff}$ (mm)	15.3	-25.3	-25.3	-25.3	-33.	
J <sub>y,eff</sub> (mm <sup>4</sup> )	2.357E+1	5.298E+1	5.298E+1	5.298E+1	7.219E+1	2.856E+1
W <sub>y,0eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.018E+	-3.549E+	-3.549E+	-3.549E+	-3.691E+	-3.163E+
W <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.513E+	-3.832E+	-3.832E+	-3.832E+	-3.911E+	-3.602E+
W <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.222E+	4.353E+	4.353E+	4.353E+	9.571E+	1.581E+
W <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.197E+	4.214E+	4.214E+	4.214E+	9.089E+	1.547E+
W <sub>y,5eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.116E+	4.116E+	4.116E+	8.758E+	1.522E+
W <sub>y,6eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.116E+	4.116E+	4.116E+	8.758E+	1.522E+
W <sub>y,7eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.587E+	3.587E+	3.587E+	7.117E+	1.382E+
W <sub>y,8eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.469E+	3.469E+	3.469E+	6.783E+	1.349E+
S <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.184E+	1.819E+	1.819E+	1.819E+	2.404E+	1.073E+
S <sub>y,2eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.958E+	1.932E+	1.932E+	1.932E+	2.595E+	1.149E+
S <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.237E+	1.783E+	1.783E+	1.783E+	2.538E+	8.225E+
S <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.051E-29	1.387E+	1.387E+	1.387E+	2.29E+	2.379E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente  $\psi$

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	26.399
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	2.874

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

**Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-2.445E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	1.19E+	0E+0	1.287E+	1.354E+

**Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		-1.		2.					1.		2.			
$\sigma_7$		-1	-49.	-11.	58.				-7.	32.	15.	107.	14	0.38
$\sigma_6$		-16.	-44.	-12.	52.			8.	-7.	29.	10.	95.	133.	0.34
$\sigma_5$		-		2.					1.		1.			
$\sigma_4$	-123.	-16.	-4	-12.	5			-115.	-7.	29.	10.	93.	7.	0.02
$\sigma_3$	-121.	-15.	-4	-12.	50.			-113.	-7.	28.	9.	91.	6.	0.0
$\sigma_2$				-1					-8.		-9.	-19.	-19.	0.05
$\sigma_1$	42.	17.	18.	-19.	-22.			38.	-11.	-12.	-54.	-68.	-42.	0.13
$\sigma_0$	49.	19.	21.	-2	-25.			45.	-11.	-14.	-57.	-75.	-44.	0.13

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.381 VERIFICA SODDISFATTA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.37 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 1.51 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 5.53 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 4.69 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=130 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=67.946 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd}=9.01E+6$  N

Essendo:

$$a/h_w=1.346, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=3.809E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=7.819, \quad K_\tau=10.45$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=6.087E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=2.922E+6 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.628, \quad \lambda_w=1.321, \quad \tau_{cr}=117.5, \quad C=1418.9$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.403E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-9.557E+7 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=-0.147$$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd}=1.218E+7$  N

Resistenza a taglio:  $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=9.01E+6$  N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.022, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.032, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.381$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

**Sollecitazioni (Comb. Mmin)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	1.12E+	-2E+	0E+0
2	0E+0	3.3E+	-1.13E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-4.8E+	-4.53E+	0E+0
Term.Is	3.88E+		3.79E+	
3	4.08E+	4.26E+	-4.26E+	0E+0
Total	7.95E+	5.23E+	-7.46E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Mmin)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Classe
Anima	13	2149.3	0.2	-0.9	
Piattabanda superiore	9.7				
Piattabanda inferiore	5.1				
classe della sezione					

Analisi plastica: APPLICABILE

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	7.955E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-7.464E+7	N <sub>Ed</sub> (N)	7.955E+6
N <sub>Rd</sub> (N)	7.348E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-1.272E+8	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-7.464E+7
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-1.277E+8
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.108	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.587	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.584

VERIFICA SODDISFATTA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>			-					-	-1.		-8.		-12.	0.64
σ <sub>7</sub>		-31.	-81.					-31.	7.	-32.	-51.	-286.	-75.	0.19
σ <sub>6</sub>		-27.	-73.					-27.	7.	-29.	-40.	-258.	-60.	0.15
σ <sub>5</sub>			-1.					-1.	-1.		-6.		-9.	0.51
σ <sub>4</sub>	-16	-27.	-72.					-191.	7.	-2	-38.	-254.	-222.	0.65
σ <sub>3</sub>	-160.	-26.	-70.					-186.	7.	-28.	-36.	-248.	-215.	0.63
σ <sub>2</sub>									8.			18.	17.	0.05
σ <sub>1</sub>	57.	28.	31.					86.	10.	12.	113.	136.	210.	0.65
σ <sub>0</sub>	66.	3	35.					97.	10.	14.	12	152.	228.	0.71

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.716 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = -1.98 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = -1.67 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -12.19 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -9.62 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 130 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 67.946 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd} = 7.618E+6$  N

Essendo:

$a/h_w = 1.346$ ,  $\eta = 1.2$ ,  $I_{sl} = 3.809E+7$  (mm<sup>4</sup>),  $K_{\tau sl} = 7.819$ ,  $K_{\tau} = 10.45$   
 contributo anima:  $V_{bw,Rd} = 6.087E+6$  N, contributo flange:  $V_{bf,Rd} = 1.531E+6$  N  
 $\chi_w = 0.628$ ,  $\lambda_w = 1.321$ ,  $\tau_{cr} = 117.5$ ,  $C = 1418.9$   
 $M_{Ed} = -7.464E+7$  Nm,  $M_{f,Rd} = -1.069E+8$  Nm,  $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.698$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd} = 1.218E+7$  N

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 7.618E+6$  N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.007, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.009, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.584$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

**Sollecitazioni (Comb. Vmax)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	1.12E+	-2E+	0E+0
2	0E+0	4.72E+	-1.08E+	0E+0
2	0E+0	8.7E+	8.05E+	0E+0
Rit.Is	-4.69E+		-6.72E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	4.8E+	4.53E+	0E+0
Term.Is	-3.88E+		-3.79E+	
3	4.08E+	1.11E+	-2.72E+	0E+0
Total	-4.49E+	1.18E+	-5.59E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

**Classificazione della sezione (Comb. Vmax)**

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Classe
Anima	13	1229.0	0.5	-0.5	
Piattabanda superiore	9.7				
Piattabanda inferiore	5.1				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed}$ (N)	-4.492E+6	$M_{Ed}$ (Nm)	-5.594E+7	$N_{Ed}$ (N)	-4.492E+6
$N_{Rd}$ (N)	-1.003E+8	$M_{Rd}$ (Nm)	-1.272E+8	$M_{Ed}$ (Nm)	-5.594E+7
				$M_{Rd}$ (Nm)	-1.248E+8
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0.045	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.44	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0.448
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_8$		-1.		2.				1.		-		-2.	0.15	
$\sigma_7$		-30.	-77.	-11.	57.			-19.	-7.	32.	-29.	-176.	-78.	0.20
$\sigma_6$		-26.	-70.	-11.	52.			-17.	-7.	29.	-22.	-158.	-68.	0.17
$\sigma_5$		-1.		2.				1.		-3.		-1.	0.06	
$\sigma_4$	-16	-25.	-69.	-1	51.			-181.	-7.	2	-21.	-155.	-231.	0.68
$\sigma_3$	-160.	-25.	-67.	-12.	50.			-177.	-7.	28.	-20.	-152.	-225.	0.66
$\sigma_2$				-15.				-8.				18.	-14.	0.04
$\sigma_1$	57.	27.	3	-18.	-22.			65.	-10.	-12.	75.	93.	131.	0.41
$\sigma_0$	66.	29.	34.	-18.	-25.			75.	-10.	-14.	79.	104.	147.	0.46

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.683 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.69 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.94 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.86 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.22 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmax)

Componente	b (mm)	t (mm)	$\lambda_p$	$\rho$	$A_{c,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$\beta^k$	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	40	4	-	-	-	-	1600
Piattabanda superiore DX	40	4	-	-	-	-	1600
Piattabanda inferiore SX	57	11	-	-	-	-	6325
Piattabanda inferiore DX	57	11	-	-	-	-	6325

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmax)

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2
b (mm)	260	96	164
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	11.2	82.4	28.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-233.8	-233.8	-99.2
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	130.8	-99.2	130.8
$\psi$	-0.5	0.4	-1.3
$K_\sigma$	14.3	5.5	32.1
$\lambda_p$	1.4	0.8	0.6
$b_c$ (mm)	1667.3	96	707.3
$b_{c, sup}$ (mm)	666.9	419.	282.9
$b_{c, sup}$ (mm)	1000.4	540.	424.4
$\rho_{loc}$	0.6	0.8	
$b_{ceff}$ (mm)	1023.5	857.6	707.3
$b_{ceff, sup}$ (mm)	409.4	374.8	282.9
$b_{ceff, sup}$ (mm)	614.1	482.7	424.4
$\phi_{Foro}$ (mm)	643.8	102.3	

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmax)

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	8.392E+	2500.	1.231E+
$A_c$ 1	1.647E+	1878.	9.303E+
$A_c$ 2	0E+0		0E+0
$A_c$ Edge inf	8.489E+	1254.	1.274E+
$A_c$ tot	3.335E+	1876.	7.726E+
$A_c$	1.947E+		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmax)

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	7.497E+	2580.	8.779E+
$A_{c,eff}$ 1	1.531E+	1849.	7.483E+

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$A_{c,eff\ 2}$	0E+0		0E+0
$A_{c,eff\ Edge\ inf}$	8.489E+	1254.	1.274E+
$A_{c,eff\ tot}$	3.13E+	1863.	7.962E+
$A_{c,eff,loc}$	1.831E+		

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Vmax)

	Stiffener 1
$A_{sl}\ (mm^2)$	1.947E+
$e_{sl}\ (mm)$	1
$I_{sl}\ (mm^4)$	4.125E+
$A_{sl,eff}\ (mm^2)$	1.831E+
$e_{sl,eff}\ (mm)$	1
$I_{sl,eff}\ (mm^4)$	4.086E+
$\sigma_{cr,sl,i}\ (p)$	389.4
$\sigma_{cr,p,i}\ (p)$	917.9
$\sigma_{cr,sl}\ (c)$	358.5
$\sigma_{cr,c}\ (c)$	845.1
$\alpha_e$	0.67

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmax)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}\ (p)$	917.9	$\sigma_{cr,c}\ (c)$	0.94
$\beta_{ac}\ (p)$	0.94	$\beta_{ac}\ (c)$	0.62
$\lambda_p$	0.60	$\lambda_c$	0.76
$\rho_p$		$\chi_c$	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmax)

	$A(mm^2)$	$z_G\ (mm)$	$J_y\ (mm^4)$
Edge sup	7.497E+	2580.	8.779E+
1	1.165E+	1849.	5.693E+
2	0E+0		0E+0
Edge inf	8.489E+	1254.	1.274E+
Totale	2.764E+	1865.	7.783E+

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmax)

	$\Delta A(mm^2)$	$z_G\ (mm)$	$\Delta J_y\ (mm^4)$
Anima	-5.71E+	1929.	7.622E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
$A\ (mm^2)$	2.048E+	3.036E+	3.036E+	3.036E+	4.476E+	2.169E+
$z_G\ (mm)$	764.77	1458.71	1458.71	1458.71	1922.44	882.16
$\Delta z_{Geff}\ (mm)$	31.	8.	8.	8.	0.0	26.8
$J_{y,eff}\ (mm^4)$	2.307E+1	5.343E+1	5.343E+1	5.343E+1	7.379E+1	2.816E+1
$W_{y,0eff}\ (mm^3)$	-3.017E+	-3.663E+	-3.663E+	-3.663E+	-3.838E+	-3.192E+
$W_{y,1eff}\ (mm^3)$	-3.524E+	-3.961E+	-3.961E+	-3.961E+	-4.071E+	-3.646E+
$W_{y,3eff}\ (mm^3)$	1.186E+	4.27E+	4.27E+	4.27E+	9.369E+	1.54E+
$W_{y,4eff}\ (mm^3)$	1.162E+	4.137E+	4.137E+	4.137E+	8.916E+	1.507E+
$W_{y,5eff}\ (mm^3)$	1E+30	4.043E+	4.043E+	4.043E+	8.604E+	1.484E+
$W_{y,6eff}\ (mm^3)$	1E+30	4.043E+	4.043E+	4.043E+	8.604E+	1.484E+
$W_{y,7eff}\ (mm^3)$	1E+30	3.535E+	3.535E+	3.535E+	7.044E+	1.349E+
$W_{y,8eff}\ (mm^3)$	1E+30	3.422E+	3.422E+	3.422E+	6.723E+	1.317E+
$S_{y,1eff}\ (mm^3)$	8.979E+	1.776E+	1.776E+	1.776E+	2.362E+	1.046E+
$S_{y,2eff}\ (mm^3)$	9.407E+	1.958E+	1.958E+	1.958E+	2.691E+	1.106E+
$S_{y,3eff}\ (mm^3)$	6.289E+	1.828E+	1.828E+	1.828E+	2.629E+	8.317E+
$S_{y,4eff}\ (mm^3)$	3.075E-29	1.421E+	1.421E+	1.421E+	2.371E+	2.404E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

coefficiente  $\psi$

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	4.366
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	0.124
$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

**Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmax)**

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	1.096E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	-4.082E+	0E+0	-3.635E+	3.823E+

**Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		-1.		2.					1.		-		-2.	0.15
$\sigma_7$		-30.	-80.	-11.	59.			-20.	-7.	33.	-29.	-182.	-79.	0.20
$\sigma_6$		-26.	-72.	-12.	54.			-18.	-7.	30.	-22.	-163.	-69.	0.17
$\sigma_5$		-1.		2.					1.		-3.		-1.	0.06
$\sigma_4$	-17	-26.	-71.	-12.	53.			-190.	-7.	30.	-21.	-16	-239.	0.70
$\sigma_3$	-168.	-25.	-70.	-12.	52.			-186.	-7.	29.	-19.	-157.	-234.	0.69
$\sigma_2$				-15.					-8.		9.	18.	-1	0.04
$\sigma_1$	56.	27.	29.	-18.	-22.			64.	-10.	-12.	7	93.	130.	0.4
$\sigma_0$	66.	29.	33.	-1	-25.			74.	-10.	-14.	8	103.	146.	0.45

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.709 VERIFICA SODDISFATTA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.65 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.91 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.89 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.26 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

**Resistenza a taglio**

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=130 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 67.946 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling:  $V_{b,Rd} = 6.087E+6$  N

Essendo:

$$a/h_w = 1.346, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 3.809E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 7.819, \quad K_\tau = 10.45$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 6.087E+6 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 0E+00 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.628, \quad \lambda_w = 1.321, \quad \tau_{cr} = 117.5, \quad C = 1418.9$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = -2.137E+8 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = -1.104E+8 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.935$$

Resistenza plastica:  $V_{pl,Rd} = 1.218E+7$  N

Resistenza a taglio:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 6.087E+6$  N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.193, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.193, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.709$$

**Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)**

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

PROGETTAZIONE ATI:

NON C'E' INTERAZIONE

**Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)**

**Sollecitazioni (Comb. Vmin)**

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	8.3E+	-1.48E+	0E+0
2	0E+0	-4.19E+	-7.31E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-4.8E+	-4.53E+	0E+0
Term.Is	3.88E+		3.79E+	
3	-4.08E+	-1.14E+	-1.46E+	0E+0
Total	-2.01E+	-1.18E+	-3.75E+	0E+0

**Pressoflessione - Analisi plastica**

**Classificazione della sezione (Comb. Vmin)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Classe
Anima	13	1546.3	0.4	-0.6	
Piattabanda superiore	9.7				
Piattabanda inferiore	5.1				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

**Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)**

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N <sub>Ed</sub> (N)	-2.008E+5	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.75E+7	N <sub>Ed</sub> (N)	-2.008E+5
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.003E+8	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-1.272E+8	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.75E+7
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-1.271E+8
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.002	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.295	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.295
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

**Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde**

**Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)**

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>		-1.						-1.	-1.		-4.		-7.	0.4
σ <sub>7</sub>		-20.	-52.					-20.	7.	-32.	-29.	-123.	-42.	0.10
σ <sub>6</sub>		-17.	-47.					-17.	7.	-29.	-2	-113.	-36.	0.09
σ <sub>5</sub>		-1.						-1.	-1.		-4.		-6.	0.35
σ <sub>4</sub>	-121.	-17.	-46.					-13	7.	-2	-25.	-11	-156.	0.46
σ <sub>3</sub>	-11	-1	-45.					-135.	7.	-28.	-24.	-109.	-152.	0.45
σ <sub>2</sub>									8.		-	-18.	-0.	0.00
σ <sub>1</sub>	42.	18.	20.					61.	10.	12.	2	22.	98.	0.30
σ <sub>0</sub>	49.	2	23.					69.	10.	14.	29.	27.	109.	0.34

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.463 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = -1.28 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = -1.08 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -7.71 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -6.71 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

**Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci**

PROGETTAZIONE ATI:

**Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmin)**

Componente	b (mm)	t (mm)	$\lambda_p$	$\rho$	$A_{c,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	$\beta$	$A*\beta$ (mm <sup>2</sup> )
Piattabanda superiore SX	40	4	-	-	-	-	1600
Piattabanda superiore DX	40	4	-	-	-	-	1600
Piattabanda inferiore SX	57	11	-	-	-	-	6325
Piattabanda inferiore DX	57	11	-	-	-	-	6325

**Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmin)**

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2
b (mm)	260	96	164
$\sigma_{cr0E}$ (N/mm <sup>2</sup> )	11.2	82.4	28.2
$\sigma_{sup}$ (N/mm <sup>2</sup> )	-158.	-158.	-63.7
$\sigma_{inf}$ (N/mm <sup>2</sup> )	97.8	-63.7	97.8
$\nu$	-0.6	0.	-1.5
$K_\sigma$	15.4	5.6	38.4
$\lambda_p$	1.4	0.8	0.5
$b_c$ (mm)	1606.6	96	646.6
$b_{c, sup}$ (mm)	642.6	417.6	258.6
$b_{c, sup}$ (mm)	963.9	542.3	387.9
$\rho_{loc}$	0.6	0.	
$b_{ceff}$ (mm)	1020.4	863.7	646.6
$b_{ceff, sup}$ (mm)	408.	375.7	258.6
$b_{ceff, sup}$ (mm)	612.2	488.0	387.9
$\phi_{Foro}$ (mm)	586.1	96.2	

**Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmin)**

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Edge sup	8.352E+	2501.	1.214E+
$A_{c,1}$	1.602E+	1891.	8.566E+
$A_{c,2}$	0E+0		0E+0
$A_c$ Edge inf	7.759E+	1297.	9.733E+
$A_{c,tot}$	3.213E+	1906.	6.912E+
$A_c$	1.902E+		

**Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmin)**

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Edge sup	7.515E+	2576.	8.842E+
$A_{c,eff,1}$	1.493E+	1864.	6.938E+
$A_{c,eff,2}$	0E+0		0E+0
$A_{c,eff}$ Edge inf	7.759E+	1297.	9.733E+
$A_{c,eff,tot}$	3.021E+	189	7.155E+
$A_{c,eff,loc}$	1.793E+		

**Tensioni critiche per l'anima (Comb. Vmin)**

	Stiffener 1
$A_{sl}$ (mm <sup>2</sup> )	1.902E+
$e_{sl}$ (mm)	17.
$I_{sl}$ (mm <sup>4</sup> )	4.111E+
$A_{sl,eff}$ (mm <sup>2</sup> )	1.793E+
$e_{sl,eff}$ (mm)	18.
$I_{sl,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	4.073E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)	397.2
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)	987.0
$\sigma_{cr,sl}$ (c)	365.6
$\sigma_{cr,c}$ (c)	908.5
$\alpha_e$	0.66

**Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmin)**

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p} (p)$	987.0	$\sigma_{cr,c} (c)$	0.94
$\beta_{ac} (p)$	0.94	$\beta_{ac} (c)$	0.60
$\lambda_p$	0.58	$\lambda_c$	0.77
$\rho_p$		$\rho_c$	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmin)

	A(mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
Edge sup	7.515E+	2576.	8.842E+
1	1.155E+	1864.	5.367E+
2	0E+0		0E+0
Edge inf	7.759E+	1297.	9.733E+
Totale	2.683E+	190	6.994E+

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmin)

	$\Delta A (mm^2)$	z <sub>G</sub> (mm)	$\Delta J_y (mm^4)$
Anima	-5.306E+	1940.	8.953E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm <sup>2</sup> )	2.052E+	3.04E+	3.04E+	3.04E+	4.48E+	2.173E+
z <sub>G</sub> (mm)	766.78	1459.15	1459.15	1459.15	1922.32	883.85
$\Delta z_{Geff}$ (mm)	29.5	8.2	8.2	8.2	0.2	25.1
J <sub>y,eff</sub> (mm <sup>4</sup> )	2.311E+1	5.343E+1	5.343E+1	5.343E+1	7.379E+1	2.819E+1
W <sub>y,0eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.014E+	-3.662E+	-3.662E+	-3.662E+	-3.838E+	-3.189E+
W <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.519E+	-3.96E+	-3.96E+	-3.96E+	-4.071E+	-3.643E+
W <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.189E+	4.272E+	4.272E+	4.272E+	9.368E+	1.544E+
W <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.165E+	4.139E+	4.139E+	4.139E+	8.915E+	1.511E+
W <sub>y,5eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.045E+	4.045E+	4.045E+	8.603E+	1.487E+
W <sub>y,6eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	4.045E+	4.045E+	4.045E+	8.603E+	1.487E+
W <sub>y,7eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.536E+	3.536E+	3.536E+	7.043E+	1.351E+
W <sub>y,8eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+30	3.423E+	3.423E+	3.423E+	6.722E+	1.32E+
S <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.004E+	1.776E+	1.776E+	1.776E+	2.362E+	1.048E+
S <sub>y,2eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.436E+	1.958E+	1.958E+	1.958E+	2.691E+	1.108E+
S <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.282E+	1.827E+	1.827E+	1.827E+	2.63E+	8.31E+
S <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.072E-29	1.421E+	1.421E+	1.421E+	2.371E+	2.402E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 1 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente  $\psi$

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	4.128
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	0.126
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-1.027E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	8.265E+	-8.693E+

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$		-1.						-1.	-1.		-4.		-7.	0.4
$\sigma_7$		-20.	-54.					-20.	7.	-33.	-29.	-127.	-4	0.1
$\sigma_6$		-18.	-49.					-18.	7.	-30.	-26.	-117.	-36.	0.09

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

$\sigma_5$		-1.						-1.	-1.		-4.		-6.	0.35
$\sigma_4$	-12.	-17.	-48.					-144.	7.	-3	-25.	-116.	-162.	0.4
$\sigma_3$	-124.	-17.	-47.					-141.	7.	-29.	-24.	-114.	-158.	0.46
$\sigma_2$									8.		-9.	-18.	-0.	0.00
$\sigma_1$	42.	18.	20.					60.	10.	12.	26.	21.	97.	0.30
$\sigma_0$	49.	2	22.					69.	10.	14.	2	27.	108.	0.34

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.48 VERIFICA SODDISFATTA

**NOTE**

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = -1.29 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = -1.09 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -7.72 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -6.72 N/mm<sup>2</sup>  
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata ( m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=130 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 67.946 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V<sub>b,Rd</sub> = 6.087E+6 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.346, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=3.809E+7(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=7.819, \quad K_\tau=10.45$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd}=6.087E+6 \text{ N}, \quad \text{contributo flange: } V_{bf,Rd}=0E+00 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.628, \quad \lambda_w=1.321, \quad \tau_{cr}=117.5, \quad C=1418.9$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=-1.448E+8 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=-1.134E+8 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.277$$

Resistenza plastica: **V<sub>pl,Rd</sub> = 1.218E+7 N**

Resistenza a taglio: **V<sub>Rd</sub> = min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>) = 6.087E+6 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.194, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.194, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.48$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

### 7.3. TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLE

La verifica viene condotta con riferimento alle tensioni di Von Mises valutate sotto la combinazione S.L.E., applicando il coefficiente di materiale  $\gamma_{m,ser} = 1.0$ . Il programma Ponti EC4 procede al calcolo del rapporto di sfruttamento dei vari componenti (acciaio, calcestruzzo e armature) delle sezioni esaminate nelle condizioni  $M_{max}/min$  e  $V_{max}/min$ .

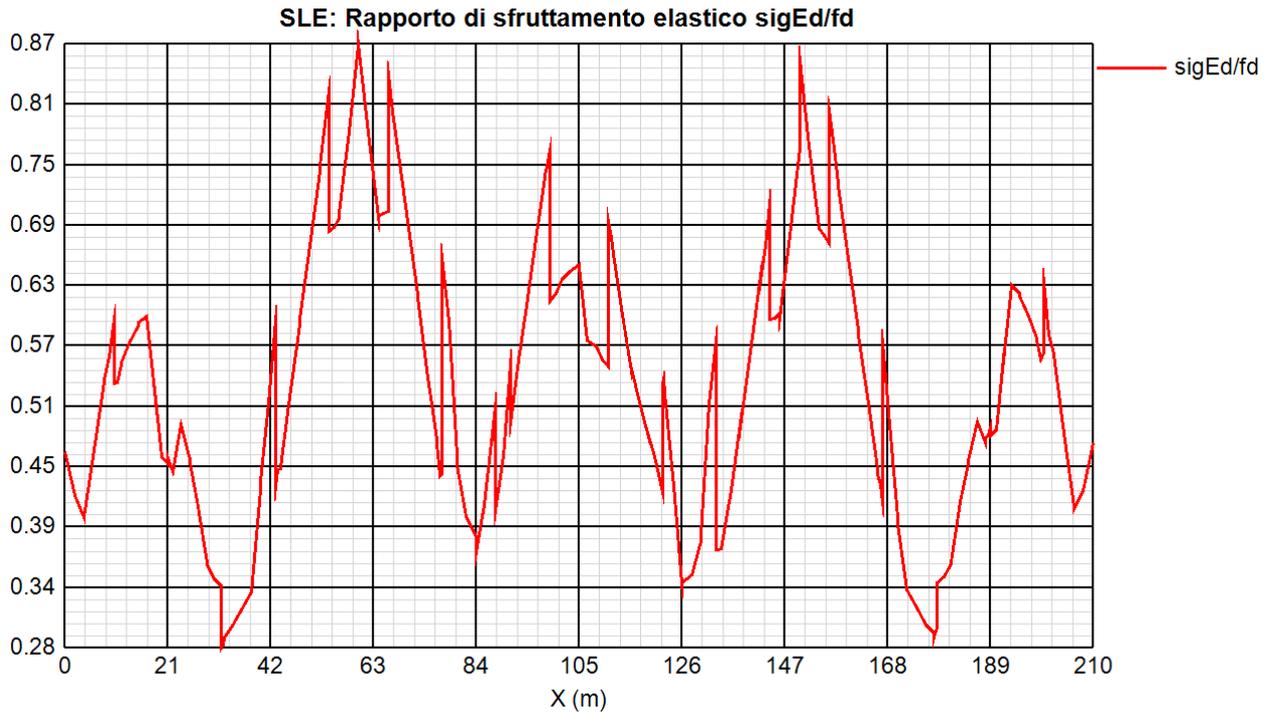
Si riportano negli allegati su supporto elettronico le verifiche estese relative alle sezioni di interesse per i diversi conci in cui l'impalcato è diviso.

PROGETTAZIONE ATI:

**7.3.1. VERIFICA S.L.E. TENSIONALE – RIEPILOGO COEFFICIENTI DI SFUTTAMENTO**

Si riporta una rappresentazione grafica dei coefficienti massimi di sfruttamento per il caso più significativo:

**FILO 000 – 200**



### 7.3.2. VERIFICA S.L.E. "WEB BREATHING" TENSIONALE – RIEPILOGO COEFFICIENTI DI SFRUTTAMENTO

La verifica è volta alla limitazione della snellezza dei singoli pannelli e sottopannelli. I criteri di verifica sono contenuti nelle istruzioni a NTC-18, cap. 4.2.4.1.3.4, che rimandano a EN 1993.2, cap. 7.4.

Tra i metodi proposti, si sceglie quello più rigoroso, comprendente la verifica diretta della stabilità dei sottopannelli, consistente nel confronto del quadro tensionale indotto dalla combinazione SLE frequente, rappresentato da  $\sigma_{x,Ed,ser}$  e  $\tau_{xy,Ed,ser}$ , con le tensioni normali e tangenziali critiche del pannello, mediante la relazione (cfr. 1993-2 cap. 7.4.(3)):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_{\sigma} \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1,1 \tau_{xy,Ed,ser}}{k_{\tau} \sigma_E}\right)^2} \leq 1,1$$

In cui:

$\sigma_E = 186200(t/h)^2$  tensione critica euleriana

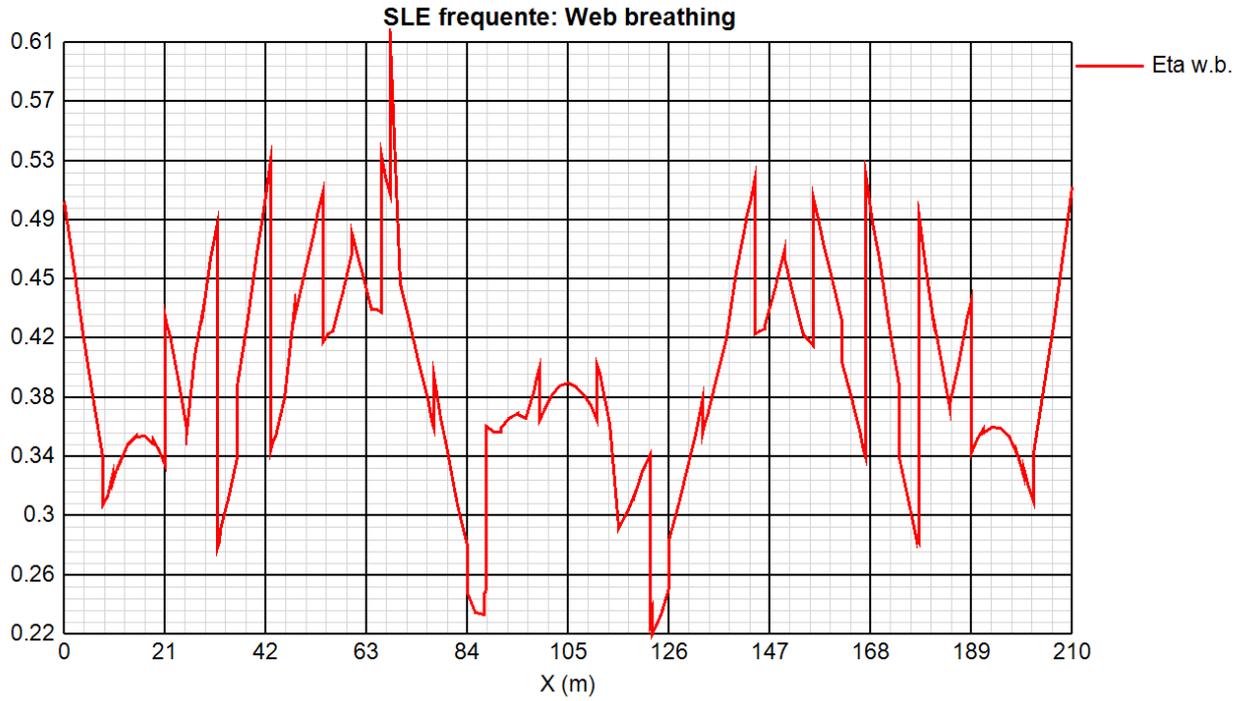
$k_{\sigma}$ ,  $k_{\tau}$  = coefficienti di imbozzamento per tensioni normali e per taglio, funzione della geometria e stato di sforzo del pannello.

La verifica viene effettuata in automatico dal programma Ponti EC4, sulla base delle combinazioni S.L.E. frequenti elaborate per tutte le sezioni di verifica, rispettivamente per Mmax/min e Vmax/min. La tensione normale critica viene valutata a partire da quella euleriana, tenendo conto della eventuale sovrapposizione dei fenomeni di instabilità di piastra e di colonna tramite il coefficiente  $\alpha$ , seguendo i criteri contenuti in EN 1993-1-5 - 4.5.4.(1).

Nelle tabelle riportate in allegato su supporto informatico vengono riportati i coefficienti di sicurezza dedotti per la verifica "web breathing" di tutte le sezioni.

Come testimoniato dalla presenza di coefficienti di sicurezza inferiori a 1.1, le verifiche appaiono in tutti i casi soddisfatte. Si riportano di seguito i grafici dei coefficienti di utilizzo a "web breathing" per le travi principali indicate in precedenza.

**FILO 000 - 200**



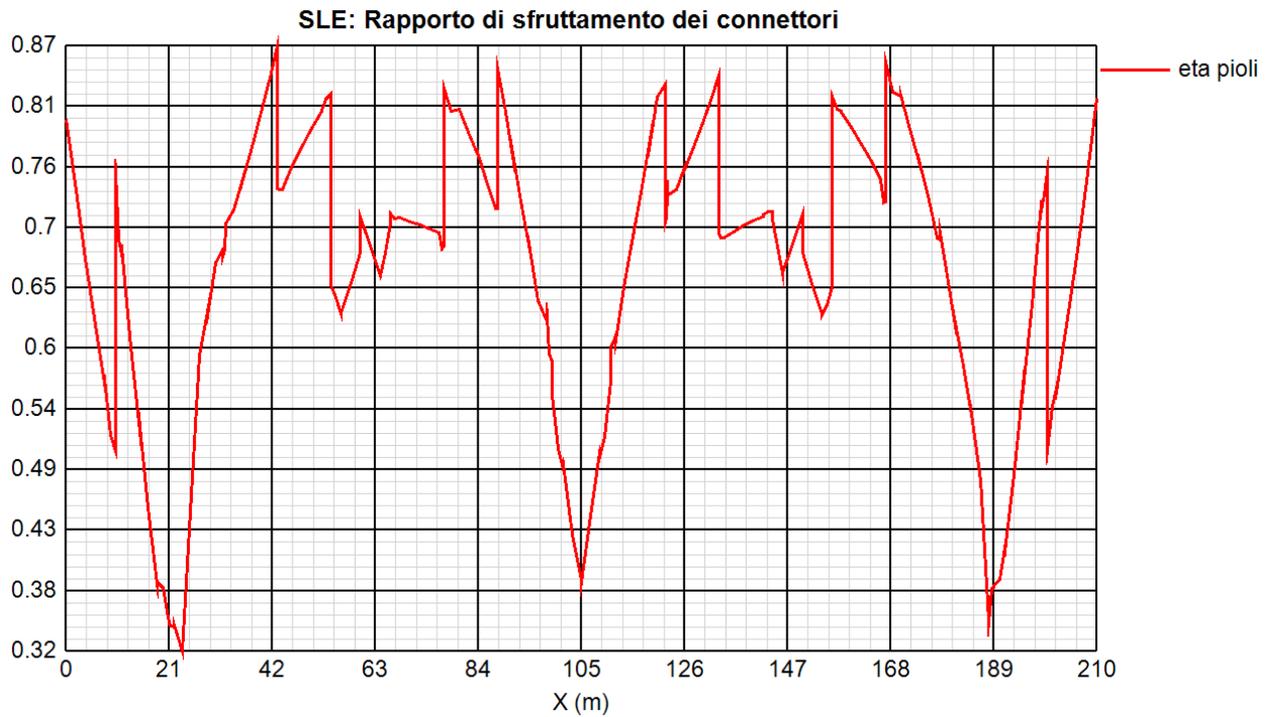
PROGETTAZIONE ATI:

### 7.3.3. VERIFICA DEI PIOLI ALLO SLE – RIEPILOGO COEFFICIENTI DI SFRUTTAMENTO

La Circolare applicativa del 21/01/19 al cap. C4.3.4.3.3, riporta che per le travate da ponte, nello stato limite di esercizio, il taglio longitudinale per ciascun connettore non deve eccedere il 60% della resistenza di progetto.

Si riportano di seguito i grafici dei coefficienti di utilizzo dei connettori per le travi principali indicate in precedenza.

#### FILO 000 - 200



X (m)	eta pioli	Sezione
0	0.801	T1N001I_T1N001I
2	0.737	T1N001M_T1N001M
4	0.676	T1N001F_T1N001F
4	0.676	T1N002I_T1N002I
6	0.616	T1N002M_T1N002M
8	0.558	T1N002F_T1N002F
8	0.561	T1N003I_T1N003I
9	0.518	T1N003M_T1N003M
10	0.504	T1N003F_T1N003F
10	0.752	T1N004I_T1N004I
10.75	0.693	T1N004M_T1N004M
11.5	0.675	T1N004F_T1N004F

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

11.5	0.676	T1N005I_T1N005I
13.25	0.597	T1N005M_T1N005M
15	0.521	T1N005F_T1N005F
15	0.526	T1N006I_T1N006I
16.75	0.453	T1N006M_T1N006M
18.5	0.385	T1N006F_T1N006F
18.5	0.387	T1N007I_T1N007I
19.75	0.382	T1N007M_T1N007M
21	0.35	T1N007F_T1N007F
21	0.349	T1N008I_T1N008I
21.5	0.348	T1N008M_T1N008M
22	0.346	T1N008F_T1N008F
22	0.348	T1N009I_T1N009I
23.75	0.325	T1N009M_T1N009M
25.5	0.466	T1N009F_T1N009F
25.5	0.465	T1N010I_T1N010I
27.25	0.59	T1N010M_T1N010M
29	0.634	T1N010F_T1N010F
29	0.632	T1N011I_T1N011I
30.5	0.672	T1N011M_T1N011M
32	0.685	T1N011F_T1N011F
32	0.678	T1N012I_T1N012I
32.25	0.684	T1N012M_T1N012M
32.5	0.708	T1N012F_T1N012F
32.5	0.707	T1N013I_T1N013I
34.25	0.72	T1N013M_T1N013M
36	0.748	T1N013F_T1N013F
36	0.747	T1N014I_T1N014I
38	0.779	T1N014M_T1N014M
40	0.81	T1N014F_T1N014F
40	0.81	T1N015I_T1N015I
41.5	0.839	T1N015M_T1N015M
43	0.867	T1N015F_T1N015F
43	0.739	T1N016I_T1N016I
43.5	0.738	T1N016M_T1N016M
44	0.738	T1N016F_T1N016F
44	0.738	T1N017I_T1N017I
46	0.757	T1N017M_T1N017M
48	0.776	T1N017F_T1N017F
48	0.776	T1N018I_T1N018I
50	0.793	T1N018M_T1N018M
52	0.808	T1N018F_T1N018F

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

52	0.809	T1N019I_T1N019I
53	0.819	T1N019M_T1N019M
54	0.824	T1N019F_T1N019F
54	0.652	T1N020I_T1N020I
55	0.641	T1N020M_T1N020M
56	0.627	T1N020F_T1N020F
56	0.627	T1N021I_T1N021I
58	0.655	T1N021M_T1N021M
60	0.682	T1N021F_T1N021F
60	0.714	T1N022I_T1N022I
62	0.687	T1N022M_T1N022M
64	0.661	T1N022F_T1N022F
64	0.661	T1N023I_T1N023I
65	0.681	T1N023M_T1N023M
66	0.709	T1N023F_T1N023F
66	0.716	T1N024I_T1N024I
67	0.712	T1N024M_T1N024M
68	0.713	T1N024F_T1N024F
68	0.713	T1N025I_T1N025I
70	0.709	T1N025M_T1N025M
72	0.706	T1N025F_T1N025F
72	0.706	T1N026I_T1N026I
74	0.703	T1N026M_T1N026M
76	0.699	T1N026F_T1N026F
76	0.699	T1N027I_T1N027I
76.5	0.685	T1N027M_T1N027M
77	0.688	T1N027F_T1N027F
77	0.828	T1N028I_T1N028I
78.5	0.809	T1N028M_T1N028M
80	0.81	T1N028F_T1N028F
80	0.81	T1N029I_T1N029I
82	0.789	T1N029M_T1N029M
84	0.767	T1N029F_T1N029F
84	0.769	T1N030I_T1N030I
85.75	0.745	T1N030M_T1N030M
87.5	0.721	T1N030F_T1N030F
87.5	0.721	T1N031I_T1N031I
87.75	0.721	T1N031M_T1N031M
88	0.721	T1N031F_T1N031F
88	0.846	T1N032I_T1N032I
89.5	0.807	T1N032M_T1N032M
91	0.767	T1N032F_T1N032F

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

91	0.77	T1N033I_T1N033I
92.75	0.727	T1N033M_T1N033M
94.5	0.683	T1N033F_T1N033F
94.5	0.684	T1N034I_T1N034I
96.25	0.639	T1N034M_T1N034M
98	0.62	T1N034F_T1N034F
98	0.624	T1N035I_T1N035I
98.5	0.59	T1N035M_T1N035M
99	0.585	T1N035F_T1N035F
99	0.554	T1N036I_T1N036I
100.3	0.506	T1N036M_T1N036M
101.5	0.484	T1N036F_T1N036F
101.5	0.486	T1N037I_T1N037I
103.3	0.429	T1N037M_T1N037M
105	0.389	T1N037F_T1N037F
105	0.387	T1N038I_T1N038I
106.8	0.439	T1N038M_T1N038M
108.5	0.497	T1N038F_T1N038F
108.5	0.495	T1N039I_T1N039I
109.8	0.517	T1N039M_T1N039M
111	0.566	T1N039F_T1N039F
111	0.597	T1N040I_T1N040I
111.5	0.603	T1N040M_T1N040M
112	0.608	T1N040F_T1N040F
112	0.604	T1N041I_T1N041I
113.8	0.651	T1N041M_T1N041M
115.5	0.697	T1N041F_T1N041F
115.5	0.696	T1N042I_T1N042I
117.3	0.74	T1N042M_T1N042M
119	0.784	T1N042F_T1N042F
119	0.78	T1N043I_T1N043I
120.5	0.821	T1N043M_T1N043M
122	0.832	T1N043F_T1N043F
122	0.709	T1N044I_T1N044I
122.3	0.713	T1N044M_T1N044M
122.5	0.734	T1N044F_T1N044F
122.5	0.733	T1N045I_T1N045I
124.3	0.738	T1N045M_T1N045M
126	0.758	T1N045F_T1N045F
126	0.756	T1N046I_T1N046I
128	0.779	T1N046M_T1N046M
130	0.8	T1N046F_T1N046F

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

130	0.8	T1N047I_T1N047I
131.5	0.821	T1N047M_T1N047M
133	0.84	T1N047F_T1N047F
133	0.699	T1N048I_T1N048I
133.5	0.695	T1N048M_T1N048M
134	0.695	T1N048F_T1N048F
134	0.695	T1N049I_T1N049I
136	0.701	T1N049M_T1N049M
138	0.706	T1N049F_T1N049F
138	0.706	T1N050I_T1N050I
140	0.71	T1N050M_T1N050M
142	0.714	T1N050F_T1N050F
142	0.715	T1N051I_T1N051I
143	0.719	T1N051M_T1N051M
144	0.719	T1N051F_T1N051F
144	0.711	T1N052I_T1N052I
145	0.687	T1N052M_T1N052M
146	0.663	T1N052F_T1N052F
146	0.663	T1N053I_T1N053I
148	0.69	T1N053M_T1N053M
150	0.716	T1N053F_T1N053F
150	0.681	T1N054I_T1N054I
152	0.654	T1N054M_T1N054M
154	0.626	T1N054F_T1N054F
154	0.626	T1N055I_T1N055I
155	0.635	T1N055M_T1N055M
156	0.651	T1N055F_T1N055F
156	0.822	T1N056I_T1N056I
157	0.81	T1N056M_T1N056M
158	0.808	T1N056F_T1N056F
158	0.807	T1N057I_T1N057I
160	0.793	T1N057M_T1N057M
162	0.778	T1N057F_T1N057F
162	0.778	T1N058I_T1N058I
164	0.763	T1N058M_T1N058M
166	0.747	T1N058F_T1N058F
166	0.747	T1N059I_T1N059I
166.5	0.726	T1N059M_T1N059M
167	0.727	T1N059F_T1N059F
167	0.853	T1N060I_T1N060I
168.5	0.825	T1N060M_T1N060M
170	0.822	T1N060F_T1N060F

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

170	0.822	T1N061I_T1N061I
172	0.792	T1N061M_T1N061M
174	0.76	T1N061F_T1N061F
174	0.761	T1N062I_T1N062I
175.8	0.729	T1N062M_T1N062M
177.5	0.695	T1N062F_T1N062F
177.5	0.695	T1N063I_T1N063I
177.8	0.694	T1N063M_T1N063M
178	0.693	T1N063F_T1N063F
178	0.7	T1N064I_T1N064I
179.5	0.661	T1N064M_T1N064M
181	0.621	T1N064F_T1N064F
181	0.623	T1N065I_T1N065I
182.8	0.58	T1N065M_T1N065M
184.5	0.536	T1N065F_T1N065F
184.5	0.537	T1N066I_T1N066I
186.3	0.477	T1N066M_T1N066M
188	0.352	T1N066F_T1N066F
188	0.351	T1N067I_T1N067I
188.5	0.38	T1N067M_T1N067M
189	0.382	T1N067F_T1N067F
189	0.383	T1N068I_T1N068I
190.3	0.39	T1N068M_T1N068M
191.5	0.423	T1N068F_T1N068F
191.5	0.422	T1N069I_T1N069I
193.3	0.491	T1N069M_T1N069M
195	0.564	T1N069F_T1N069F
195	0.56	T1N070I_T1N070I
196.8	0.636	T1N070M_T1N070M
198.5	0.716	T1N070F_T1N070F
198.5	0.715	T1N071I_T1N071I
199.3	0.733	T1N071M_T1N071M
200	0.754	T1N071F_T1N071F
200	0.505	T1N072I_T1N072I
201	0.544	T1N072M_T1N072M
202	0.565	T1N072F_T1N072F
202	0.563	T1N073I_T1N073I
204	0.623	T1N073M_T1N073M
206	0.684	T1N073F_T1N073F
206	0.684	T1N074I_T1N074I
208	0.746	T1N074M_T1N074M
210	0.819	T1N074F_T1N074F

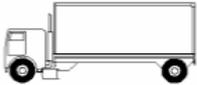
PROGETTAZIONE ATI:

## 7.4. VERIFICHE A FATICA

### 7.4.1. MODELLO DI CARICO

Nel presente paragrafo vengono condotte, a favore di sicurezza, le verifiche a fatica a vita illimitata per le strutture di impalcato: in considerazione della tipologia di categoria stradale (Categoria C1 - strada extraurbana secondaria) non si prevedono significativi effetti di interazione fra veicoli lenti; si adotta di conseguenza il modello di carico 2 costituito dai seguenti veicoli disposti sulla corsia convenzionale n. 1 (quella che massimizza l'effetto sull'elemento).

Nell'immagine seguente, in accordo con il punto 5.1.4.3 del DM 17/01/2018, si riportano le specifiche del modello di carico 2.

Sagoma del veicolo	Distanza tra gli assi (m)	Carico frequente per asse (kN)	Tipo di ruota (Tab. 5.1.IX)
	4,50	90 190	A B
	4,20 1,30	80 140 140	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	90 180 120 120 120	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	90 190 140 140	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	90 180 120 110 110	A B C C C

I delta di tensione si determinano in base agli effetti più severi dei diversi autocarri, considerati separatamente, che viaggiano da soli sulla corsia convenzionale 1.

I delta di tensione sono valutati considerando unicamente gli effetti dei carichi da traffico del LM2 viaggianti sull'impalcato nella sua interezza così come dedotto dagli inviluppi realizzati ad hoc e di seguito elencati:

**Fat\_M22.out**  
**Fat\_V3.out**

Stato Limite di Fatica - max momento flettente verticale  
Stato Limite di Fatica - max taglio verticale

PROGETTAZIONE ATI:

Indicando con  $P$  il peso del singolo asse, la ripartizione trasversale dei carichi è ottenuta ipotizzando il veicolo in transito al centro della corsia convenzionale 1.



	$Q_{1k}$ [kN/m]
$R_0^*$	0.97 P
$R_{200}^*$	0.03 P

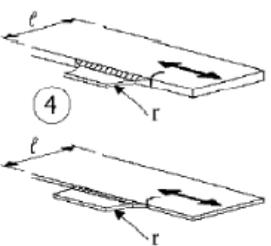
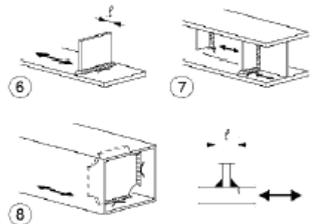
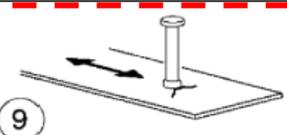
Tabella 7.1 Reazioni per carichi da fatica

### 7.4.2. CLASSI DI DETTAGLIO

I dettagli interessati dalle verifiche a fatica sono i seguenti:

- saldature degli irrigidenti trasversali alle piattabande e all'anima delle travi principali;
- saldature dei pioli alle piattabande superiori delle travi principali;
- saldature di composizione delle travi principali.
- pioli

In accordo con la "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni", par. C4.2.4.1.4.4, per i dettagli indicati si assumono i seguenti valori di resistenza a fatica per  $N = 2 \times 10^6$  cicli.

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
90 (a) 71 (b) 50 (c)		4) Fazzoletti d'attacco saldati a un lato di un piatto o della piattabanda di una trave e dotati di raccordo di transizione di raggio r. La lunghezza L deve essere valutata come per i dettagli 1), 2) e 3). La stessa classificazione può essere adottata anche per piattabande saldate dotate di raccordo di transizione di raggio r.	Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura
40		5) Come saldato, senza raccordo di transizione	
80 (a) 71 (b)		Attacchi trasversali 6) Saldati a una piastra 7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldate all'anima o alla piattabanda	6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti 7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali
80		9) Effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra	

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

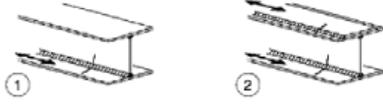
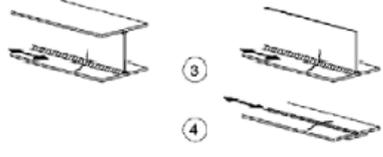
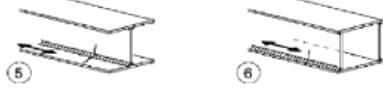
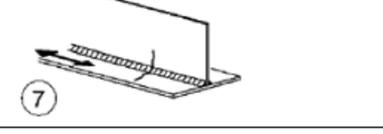
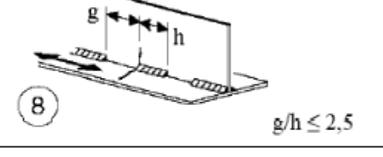
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
125		Saldature longitudinali continue 1) Saldatura automatica a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati 2) Saldatura automatica a cordoni d'angolo. Le parti terminali dei piatti di rinforzo devono essere verificate considerando i dettagli 5) e 6) della tabella C.4.2.XVI.a)	1) e 2) Non sono consentite interruzioni/riprese, a meno che la riparazione sia eseguita da un tecnico qualificato e siano eseguiti controlli atti a verificare la corretta esecuzione della riparazione
112		3) Saldatura automatica a cordoni d'angolo o a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati, ma contenente punti di interruzione/ripresa. 4) Saldatura automatica a piena penetrazione su piatto di sostegno, non contenente punti di interruzione/ripresa	4) Se il dettaglio contiene punti di interruzione/ripresa, si deve far riferimento alla classe 100
100		5) Saldatura manuale a cordoni d'angolo o a piena penetrazione 6) Saldatura a piena penetrazione manuale o automatica eseguita da un sol lato, in particolare per travi a cassone	5) e 6) Deve essere assicurato un corretto contatto tra anima e piattabanda. Il bordo dell'anima deve essere preparato in modo da garantire una penetrazione regolare alla radice, senza interruzioni
100		7) Saldatura a cordoni d'angolo o a piena penetrazione, manuale o automatica, appartenente ai dettagli da 1) a 6) riparata	In caso di adozione di metodi migliorativi mediante molatura eseguita da tecnici qualificati, integrati da opportuni controlli, è possibile ripristinare la classe originaria
80		8) Saldatura longitudinale a cordoni d'angolo a tratti	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda
71		9) Saldatura longitudinale a piena penetrazione, a cordoni d'angolo e a tratti, con lunette di scarico di altezza non maggiore di 60 mm. Per lunette di altezza maggiore vedere dettaglio 1) della tabella C.4.2.XV)	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda

Figura 7.2 Dettagli costruttivi per attacchi e irrigidenti saldati ( $\Delta\sigma$ ).

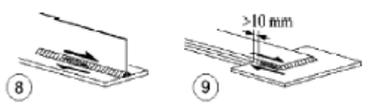
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80		8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnesione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate 9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali	8) $\Delta\tau$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

Figura 7.3 Dettagli costruttivi per sezioni saldate ( $\Delta\tau$ ).

### 7.4.3. VERIFICHE A VITA ILLIMITATA

In accordo con il par. 4.2.4.1.4 del DM 17/01/2018 e con i punti C4.2.4.1.4.3 e C4.2.4.1.4.5 delle "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni" si verifica che:

$$\Delta\sigma_{max,d} \leq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}$$

$$\Delta\tau_{max,d} \leq \Delta\tau_D/\gamma_{Mf} = \Delta\tau_L/\gamma_{Mf}$$

Essendo:

$\Delta\sigma_{max,d}$ ,  $\Delta\tau_{max,d}$  valori di progetto delle massime escursioni di tensione prodotte dal modello di carico a fatica;

$\Delta\sigma_D = 0.737\Delta\sigma_C$  limite a fatica a ampiezza costante per  $N = 5 \times 10^6$  cicli;

$\Delta\tau_L = 0.457\Delta\tau_C$  limite a fatica a ampiezza costante per  $N = 10^8$  cicli;

$\Delta\sigma_C$  limite a fatica a ampiezza costante per  $N = 2 \times 10^6$ , dedotto dalla relativa curva S-N di resistenza a fatica per il dettaglio considerato;

$\Delta\tau_C$  limite a fatica a ampiezza costante per  $N = 2 \times 10^6$ , dedotto dalla relativa curva S-N di resistenza a fatica per il dettaglio considerato;

$\gamma_{Mf}$  coefficiente parziale di sicurezza.

**N.B. Le verifiche saranno eseguite impiegando un coefficiente parziale  $\gamma_{Mf}=1.35$ .**

#### 7.4.3.1. Saldature degli irrigidenti trasversali alle piattabande

Essendo lo spessore massimo di irrigidente e saldature minore di 50 mm risulta:

Classe del dettaglio	$\Delta\sigma_C^* = 8.0 \text{ kN/cm}^2$
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{mf} = 1.35$
Resistenza di progetto a fatica	$\Delta\sigma_D = 8.0 \times 0.737 / 1.35 \text{ kN/cm}^2 = 4.37 \text{ kN/cm}^2$

In questo caso si controllano le tensioni all'interfaccia piattabanda-anima.

##### Piattabanda superiore

Asta 64 – x = 0.00 cm (Sezione 017)

$$\Delta\sigma_{sup,max} = 2.61 \text{ kN/cm}^2 < 4.37 \text{ kN/cm}^2$$

##### Piattabanda inferiore

Asta 63 – x = 50.00 cm (Sezione 016)

$$\Delta\sigma_{inf,max} = 3.90 \text{ kN/cm}^2 < 4.37 \text{ kN/cm}^2$$

#### 7.4.3.2. Saldature dei pioli alle piattabande superiori

Classe del dettaglio	$\Delta\sigma_C^* = 8.0 \text{ kN/cm}^2$
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{mf} = 1.35$
Resistenza di progetto a fatica	$\Delta\sigma_D = 8.0 \times 0.737 / 1.35 \text{ kN/cm}^2 = 4.37 \text{ kN/cm}^2$

Asta 64 – x = 0.00 cm (Sezione 107)

$$\Delta\sigma_{sup,max} = 2.66 \text{ kN/cm}^2 < 4.37 \text{ kN/cm}^2$$

### 7.4.3.3. Saldature di composizione delle travi

Classe del dettaglio	$\Delta\tau_C^* = 8.0 \text{ kN/cm}^2$
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{mf} = 1.35$
Resistenza di progetto a fatica	$\Delta\tau_D = 8.0 \times 0.457 / 1.35 \text{ kN/cm}^2 = 2.71 \text{ kN/cm}^2$

Per il calcolo di  $\Delta\tau$  in corrispondenza della sezione di gola del cordone ( $\Delta\tau_w$ ) si assume, per ogni spessore di anima, il valore di  $\Delta\tau_{med}$  corrispondente.

#### anima 18 mm

Asta 67 – x = 100.00 cm (Sezione 017)

$$\Delta\tau_{med,max} = 0.87 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 7 \times 7 \quad \max \Delta\tau_w = 1.8 * 0.87 / (2 * 0.0.7 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 1.58 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

#### anima 20 mm

Asta 1 – x = 0.00 cm (Sezione 001)

$$\Delta\tau_{med,max} = 1.17 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 7 \times 7 \quad \max \Delta\tau_w = 2.0 * 1.17 / (2 * 0.7 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 2.36 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

#### anima 22 mm

Asta 40 – x = 0.00 cm (Sezione 011)

$$\Delta\tau_{med,max} = 0.87 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 7 \times 7 \quad \max \Delta\tau_w = 2.2 * 0.87 / (2 * 0.7 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 1.93 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

#### anima 25 mm

Asta 31 – x = 25.00 cm (Sezione 008)

$$\Delta\tau_{med,max} = 0.68 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 7 \times 7 \quad \max \Delta\tau_w = 2.5 * 0.68 / (2 * 0.7 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 1.17 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

anima 27 mm

Asta 52 – x = 0.00 cm

(Sezione 014B)

$$\Delta\tau_{med,max} = 0.58 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

cordone 12x12       $\max \Delta\tau_w = 2.7 * 0.51 / (2 * 1.2 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 0.92 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$

PROGETTAZIONE ATI:

### 7.4.3.4. Pioli

Classe del dettaglio

$$\Delta\tau_C^* = 9.0 \text{ kN/cm}^2$$

Coefficiente di sicurezza

$$\gamma_{mf} = 1.15$$

Resistenza di progetto a fatica

$$\Delta\tau_D = 9.0 \times 0.457 / 1.15 \text{ kN/cm}^2 = 3.57 \text{ kN/cm}^2$$

I pioli vengono verificati in via cautelativa a vita illimitata.

SEZIONE	ASTA	PIOLI		SCORRIMENTO		SCORRIMENTO PIOLO		$\Delta\tau$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\tau_D$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\Delta\tau/\Delta\tau_D$
1	3	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	8.67	Fmax (kN)	0.29	1.27	3.56	0.36
		numero	6							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-99.66	Fmin (kN)	-3.32			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
2	4	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	8.94	Fmax (kN)	0.45	2.45	3.56	0.69
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-129.71	Fmin (kN)	-6.49			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
3	8	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	61.95	Fmax (kN)	3.10	2.54	3.56	0.71
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-82.20	Fmin (kN)	-4.11			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
4	12	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	87.24	Fmax (kN)	4.36	2.25	3.56	0.63
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-40.55	Fmin (kN)	-2.03			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
5	16	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	92.66	Fmax (kN)	4.63	1.90	3.56	0.53
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-15.10	Fmin (kN)	-0.76			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
6A	20	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	33.84	Fmax (kN)	1.35	0.52	3.56	0.15
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-3.34	Fmin (kN)	-0.13			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
6B	23	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	8.15	Fmax (kN)	0.33	1.45	3.56	0.41
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-94.60	Fmin (kN)	-3.78			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
7	27	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	13.64	Fmax (kN)	0.55	1.71	3.56	0.48
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-107.67	Fmin (kN)	-4.31			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
8	31	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	38.63	Fmax (kN)	1.55	2.30	3.56	0.65
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-124.40	Fmin (kN)	-4.98			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
9	35	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	69.17	Fmax (kN)	3.46	2.96	3.56	0.83
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-98.53	Fmin (kN)	-4.93			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							

PROGETTAZIONE ATI:

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

10	101	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	67.05	Fmax (kN)	3.35	2.87	3.56	0.81
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-95.50	Fmin (kN)	-4.78			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
11	40	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	103.27	Fmax (kN)	5.16	3.00	3.56	0.84
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-66.81	Fmin (kN)	-3.34			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
12	44	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	122.40	Fmax (kN)	4.90	2.23	3.56	0.63
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-35.61	Fmin (kN)	-1.42			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
13	48	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	109.71	Fmax (kN)	4.39	1.75	3.56	0.49
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-14.68	Fmin (kN)	-0.59			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
14A	52	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	35.98	Fmax (kN)	1.44	0.67	3.56	0.19
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-11.36	Fmin (kN)	-0.45			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
14B	55	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	4.34	Fmax (kN)	0.17	1.32	3.56	0.37
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-89.39	Fmin (kN)	-3.58			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
15	59	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	-6.57	Fmax (kN)	-0.33	1.48	3.56	0.42
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-90.49	Fmin (kN)	-4.52			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
16	63	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	43.60	Fmax (kN)	2.18	2.38	3.56	0.67
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-91.20	Fmin (kN)	-4.56			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
17	67	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	85.20	Fmax (kN)	4.26	2.59	3.56	0.73
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-61.79	Fmin (kN)	-3.09			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
18	71	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	130.72	Fmax (kN)	6.54	2.50	3.56	0.70
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-10.84	Fmin (kN)	-0.54			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							
19	74	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	56.51	Fmax (kN)	1.88	1.08	3.56	0.30
		numero	6							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-35.28	Fmin (kN)	-1.18			
		Area (cm <sup>2</sup> )	2.84							

## 7.5. SALDATURA DI COMPOSIZIONE

Si riportano nella seguente tabella i valori di massimo scorrimento tra anima e piattabanda inferiore e superiore rispettivamente, calcolati considerando le azioni derivanti dall' involuppo dei massimi tagli sezione per sezione; date le dimensioni del cordone di saldatura utilizzato nel progetto viene inoltre calcolata la  $\tau//$ .

$\sigma$  amm

24.85 kN/cm<sup>2</sup>

Venturello - saldature cordone superiore						
Sezione	t Anima (mm)	Scorrimento [kN/cm]	Ag minima [cm]	cordone [mm]	h gola [mm]	$\tau//$ [kN/cm <sup>2</sup> ]
1	20	14.96	0.60	10 x 10	7.07	10.6
2	20	9.40	0.38	7 x 7	4.95	9.5
3	18	9.36	0.38	7 x 7	4.95	9.5
4	22	10.65	0.43	7 x 7	4.95	10.8
5	25	13.35	0.54	10 x 10	7.07	9.4
6	27	16.55	0.67	12 x 12	8.49	9.8
7	25	14.45	0.58	10 x 10	7.07	10.2
8	25	13.30	0.54	7 x 7	4.95	13.4
9	22	11.40	0.46	7 x 7	4.95	11.5
10	20	7.58	0.31	7 x 7	4.95	7.7
11	22	11.40	0.46	7 x 7	4.95	11.5
12	25	13.13	0.53	7 x 7	4.95	13.3
13	25	14.45	0.58	10 x 10	7.07	10.2
14	27	16.55	0.67	12 x 12	8.49	9.8
15	25	13.30	0.54	10 x 10	7.07	9.4
16	22	10.82	0.44	7 x 7	4.95	10.9
17	18	9.49	0.38	7 x 7	4.95	9.6
18	20	9.16	0.37	7 x 7	4.95	9.3
19	20	14.66	0.59	10 x 10	7.07	10.4

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Venturello - saldature cordone inferiore						
Sezione	t Anima	Scorrimento	Ag minima	cordone	h gola	$\tau//$
	(mm)	[kN/cm]	[cm]	[mm]	[mm]	[kN/cm <sup>2</sup> ]
1	20	16.06	0.65	10 x 10	7.07	11.4
2	20	8.36	0.34	7 x 7	4.95	8.4
3	18	9.20	0.37	7 x 7	4.95	9.3
4	22	11.79	0.47	7 x 7	4.95	11.9
5	25	13.63	0.55	10 x 10	7.07	9.6
6	27	17.33	0.70	12 x 12	8.49	10.2
7	25	14.88	0.60	10 x 10	7.07	10.5
8	25	14.45	0.58	7 x 7	4.95	14.6
9	22	13.07	0.53	7 x 7	4.95	13.2
10	20	7.72	0.31	7 x 7	4.95	7.8
11	22	13.07	0.53	7 x 7	4.95	13.2
12	25	14.50	0.58	7 x 7	4.95	14.6
13	25	14.85	0.60	10 x 10	7.07	10.5
14	27	17.31	0.70	12 x 12	8.49	10.2
15	25	13.58	0.55	10 x 10	7.07	9.6
16	22	11.64	0.47	7 x 7	4.95	11.8
17	18	9.25	0.37	7 x 7	4.95	9.3
18	20	8.18	0.33	7 x 7	4.95	8.3
19	20	16.38	0.66	10 x 10	7.07	11.6

PROGETTAZIONE ATI:

## 7.6. VERIFICA DEI PIOLI

La verifica si esegue secondo quanto specificato al par. 6.3.2.1 di EC4-2.

Le caratteristiche dei materiali sono le seguenti:

<i>Pioli di tipo Nelson</i>	$\phi 19$ , $h = 175$ mm ( $h_{\min} = 0.6 h_{\text{sol}}$ )
<i>Soletta</i>	CLS C32/40

La resistenza a taglio di progetto di un piolo dotato di testa è la minore fra:

$$P_{Rd} = 0.8 f_u (\pi \phi^2 / 4) / \gamma_V$$

$$P_{Rd} = 0.29 \alpha \phi^2 (f_{ck} E_{cm})^{1/2} / \gamma_V$$

dove:

$\phi$  è il diametro del gambo del piolo;

$f_u$  è la resistenza specifica ultima a trazione del materiale del piolo, da assumersi non maggiore di 500 N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ck}$  è la resistenza cilindrica caratteristica del calcestruzzo all'età considerata;

$E_{cm}$  è il valore nominale del modulo secante del calcestruzzo;

$\alpha = 0.2 [(h/\phi) + 1]$  per  $3 \leq h/\phi \leq 4$ ;

$\alpha = 1$  per  $h/\phi > 4$ ;

$h$  è l'altezza globale del piolo;

$\gamma_V$  è il fattore parziale di sicurezza da assumersi pari a 1.25 per gli stati limite ultimi diversi dalla fatica.

Nel caso in esame si ottiene

$$P_{Rd} = 0.8 f_u (\pi \phi^2 / 4) / \gamma_V = 81.66 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 0.29 \alpha \phi^2 (f_{ck} E_{cm})^{1/2} / \gamma_V = 88.51 \text{ kN}$$

da cui:

$$P_{Rd} = 81.66 \text{ kN} \quad \text{allo SLU}$$

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Nelle tabelle seguenti si riporta la verifica dei connettori delle travi principali.

TRAVE ESTERNA								
CONCIO	ASTA	ascissa	Scorrimento[kN/m]	Prd	$\eta_{pioli}$	passo[cm]	Portata[kN/m]	Verifica
1	201	200.0	1084.23	81.7	6	20	2449.7	0.44
1	202	0.0	994.34	81.7	6	20	2449.7	0.41
1	203	0.0	824.03	81.7	6	20	2449.7	0.34
2	204	0.0	737.34	81.7	4	20	1633.1	0.45
2	205	0.0	662.81	81.7	4	20	1633.1	0.41
2	206	0.0	515.19	81.7	4	20	1633.1	0.32
2	207	0.0	379.06	81.7	4	20	1633.1	0.23
3	208	0.0	342.05	81.7	4	20	1633.1	0.21
3	209	350.0	456.55	81.7	4	20	1633.1	0.28
3	210	350.0	621.41	81.7	4	20	1633.1	0.38
3	211	300.0	670.91	81.7	4	20	1633.1	0.41
4	212	50.0	693.48	81.7	4	20	1633.1	0.42
4	213	175.0	705.57	81.7	4	20	1633.1	0.43
4	214	0.0	572.05	81.7	4	20	1633.1	0.35
4	215	0.0	266.33	81.7	4	20	1633.1	0.16
5	216	100.0	246.6	81.7	4	20	1633.1	0.15
5	217	200.0	251.65	81.7	4	20	1633.1	0.15
5	218	0.0	206.97	81.7	4	20	1633.1	0.13
5	219	100.0	171.75	81.7	4	20	1633.1	0.11
6	220	200.0	342.87	81.7	5	20	2041.4	0.17
6	221	400.0	348.83	81.7	5	20	2041.4	0.17
6	222	400.0	350.44	81.7	5	20	2041.4	0.17
6	223	200.0	351.34	81.7	5	20	2041.4	0.17
7	224	0.0	169	81.7	5	20	2041.4	0.08
7	225	0.0	166.78	81.7	5	20	2041.4	0.08
7	226	400.0	164.96	81.7	5	20	2041.4	0.08
7	227	50.0	276.12	81.7	5	20	2041.4	0.14
8	228	300.0	778.85	81.7	5	20	2041.4	0.38
8	229	200.0	966.72	81.7	5	20	2041.4	0.47
8	230	0.0	941.52	81.7	5	20	2041.4	0.46
8	231	0.0	883.6	81.7	5	20	2041.4	0.43
9	232	0.0	828.67	81.7	4	20	1633.1	0.51
9	233	0.0	750.94	81.7	4	20	1633.1	0.46
9	234	0.0	663.43	81.7	4	20	1633.1	0.41
9	235	0.0	602.05	81.7	4	20	1633.1	0.37
10	236	0.0	542.78	81.7	4	20	1633.1	0.33
10	237	0.0	475.66	81.7	4	20	1633.1	0.29
10	238	350.0	486.48	81.7	4	20	1633.1	0.30
10	239	250.0	554.47	81.7	4	20	1633.1	0.34
11	240	100.0	596.5	81.7	4	20	1633.1	0.37
11	241	350.0	686.96	81.7	4	20	1633.1	0.42
11	242	350.0	776.82	81.7	4	20	1633.1	0.48
11	243	300.0	827.49	81.7	4	20	1633.1	0.51
12	244	50.0	898.82	81.7	5	20	2041.4	0.44
12	245	350.0	928.49	81.7	5	20	2041.4	0.45
12	246	200.0	951.34	81.7	5	20	2041.4	0.47
12	247	0.0	775.23	81.7	5	20	2041.4	0.38
13	248	100.0	313.92	81.7	5	20	2041.4	0.15
13	249	200.0	312.46	81.7	5	20	2041.4	0.15
13	250	0.0	312.02	81.7	5	20	2041.4	0.15
13	251	200.0	178.73	81.7	5	20	2041.4	0.09
14	252	100.0	351.71	81.7	5	20	2041.4	0.17
14	253	0.0	350.79	81.7	5	20	2041.4	0.17
14	254	0.0	346.82	81.7	5	20	2041.4	0.17
14	255	0.0	340.54	81.7	5	20	2041.4	0.17
15	256	0.0	169.08	81.7	4	20	1633.1	0.10
15	257	200.0	278.09	81.7	4	20	1633.1	0.17
15	258	0.0	272.58	81.7	4	20	1633.1	0.17
15	259	50.0	209.79	81.7	4	20	1633.1	0.13
16	260	0.0	238.27	81.7	4	20	1633.1	0.15
16	261	400.0	647.85	81.7	4	20	1633.1	0.40
16	262	175.0	713.89	81.7	4	20	1633.1	0.44
16	263	0.0	681.23	81.7	4	20	1633.1	0.42
17	264	0.0	685.76	81.7	4	20	1633.1	0.42
17	265	0.0	610.61	81.7	4	20	1633.1	0.37
17	266	0.0	526.11	81.7	4	20	1633.1	0.32
17	267	100.0	374.21	81.7	4	20	1633.1	0.23
18	268	250.0	414.89	81.7	4	20	1633.1	0.25
18	269	350.0	552.76	81.7	4	20	1633.1	0.34
18	270	350.0	701.58	81.7	4	20	1633.1	0.43
18	271	150.0	738.89	81.7	4	20	1633.1	0.45
19	272	200.0	830.36	81.7	6	20	2449.7	0.34
19	273	400.0	1006.38	81.7	6	20	2449.7	0.41
19	274	200.0	1097.19	81.7	6	20	2449.7	0.45

PROGETTAZIONE ATI:

## 7.7. VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ

Si riportano di seguito le verifiche di deformabilità dell'impalcato.

Nel presente paragrafo si riportano le verifiche di deformabilità nelle varie fasi di vita della struttura e la relativa contromonta da assegnare ai vari conci.

Le strutture in acciaio, in C.A.P. e miste acciaio - calcestruzzo (ad eccezione delle strutture con travi in ferro incorporate nel cls) dovranno presentare una contromonta da determinare considerando per la totalità dei carichi permanenti e degli effetti lenti del cls, nonché per il 25% dei carichi accidentali dinamizzati.

Si dovranno valutare le deformazioni elastiche dovute ai seguenti carichi:

- Peso proprio della struttura metallica e della soletta d'impalcato (fp);
- Peso delle opere di finitura (ff);
- Carichi verticali da traffico (fs);
- Effetti del ritiro della soletta ed effetto viscoso (fr).

Dovrà essere assorbita da opportuna controfreccia di costruzione (cf) la somma dei seguenti contributi:

$$cf = fp + ff + fr + 0.25 fs$$

Tale controfreccia dovrà essere ottenuta di norma mediante sagomatura dell'anima all'atto del taglio delle lamiere o tramite spezzata realizzata in corrispondenza dei giunti tra conci. L'asse del giunto sarà disposto lungo il raggio dell'arco e l'apertura del varco tra i conci dovrà risultare costante lungo tutta l'altezza della trave.

Dovrà inoltre risultare:  $fp \leq L/300$

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

$$f \leq L/700$$

Dove:

L = luce di calcolo;

f = massima freccia verticale;

La verifica di deformabilità dell'impalcato è stata effettuata valutando la freccia indotta dal carico accidentale veicolare su ogni campata. Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

**Campata SPA - P1**  
**Lunghezza 6000 cm**

Frecce (cm)	Trave 1		Trave 2	
Fase 1	-4.58	L/1310 < L/300	-4.58	L/1310 < L/300
Fase 2	-0.98		-0.98	
Ritiro	-1.61		-1.61	
Fase 3	-5.66	L/1060 < L/700	-5.66	L/1060 < L/700

SLE (rara)	-5.70	L/1053 < L/700	-5.70	L/1053 < L/700
------------	-------	----------------	-------	----------------

**Campata P1-P2**  
**Lunghezza 9000 cm**

Frecce (cm)	Trave 1		Trave 2	
Fase 1	-15.09	L/596 < L/300	-15.09	L/596 < L/300
Fase 2	-3.41		-3.41	
Ritiro	0.00		0.00	
Fase 3	-10.63	L/847 < L/700	-10.63	L/847 < L/700

SLE (rara)	-10.70	L/841 < L/700	-10.70	L/841 < L/700
------------	--------	---------------	--------	---------------

**Campata P2-SPB**  
**Lunghezza 6000 cm**

Frecce (cm)	Trave 1		Trave 2	
Fase 1	-4.12	L/1456 < L/300	-4.12	L/1456 < L/300
Fase 2	-0.87		-0.87	
Ritiro	-1.45		-1.45	
Fase 3	-5.06	L/1779 < L/700	-5.06	L/1779 < L/700

SLE (rara)	-5.10	L/1176 < L/700	-5.10	L/1176 < L/700
------------	-------	----------------	-------	----------------

PROGETTAZIONE ATI:

## 8. DIAFRAMMI E CONTROVENTI

### 8.1. DIAFRAMMI

I diaframmi di spalla sono costituiti da profili ad anima piena composti saldati, mentre i diaframmi di pila e intermedi hanno struttura reticolare.

Per i diaframmi di pila la briglia superiore è costituita da un profilo 2L 130x12 e il diagonale da un profilo 4L 130x12.

Per i diaframmi intermedi la briglia superiore è costituita da un profilo 2L 130x12 mentre il diagonale da un profilo 4L 130 x 10.

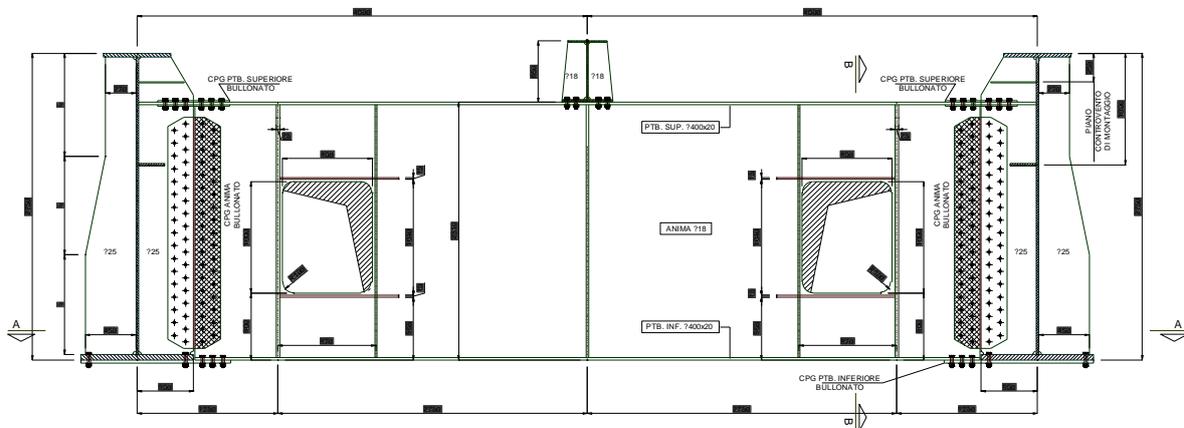


Figura 8.1 Sezione trasversale su diaframmi di spalla

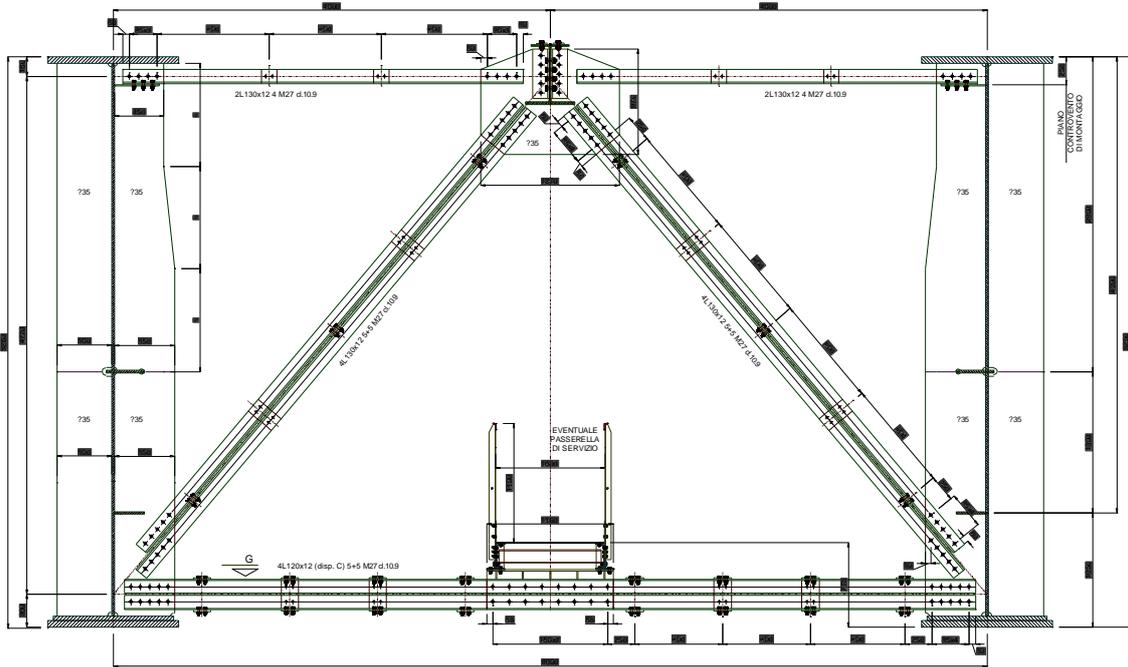


Figura 8.2 Sezione trasversale su diaframmi di pila

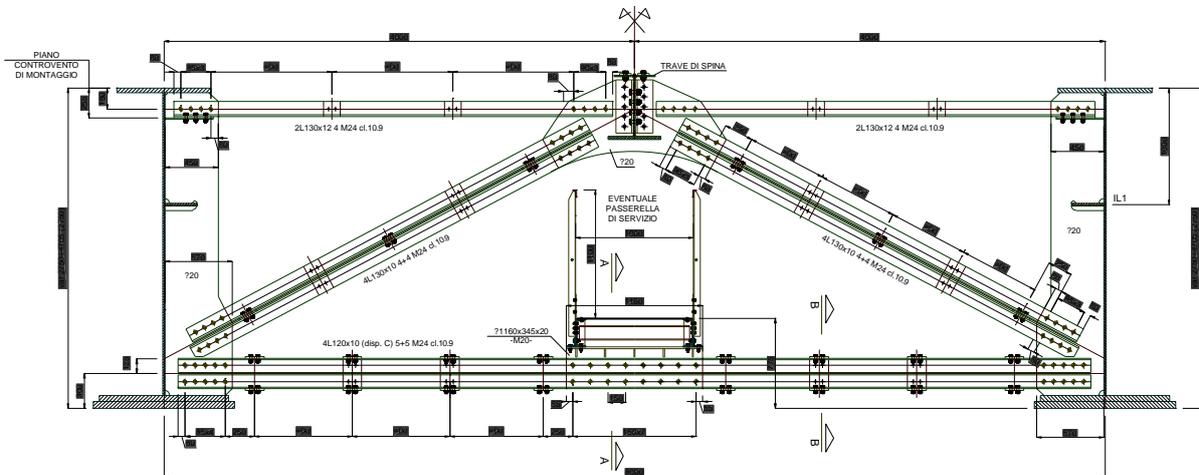


Figura 8.3 Sezione trasversale su diaframmi intermedi

PROGETTAZIONE ATI:

## 8.1.1. DIAFRAMMI DI SPALLA

### 8.1.1.1. Effetti globali

#### INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI

EFFETTI GLOBALI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		FASE3r		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1001	0	0	0	0	0	0	0	0	5341	503	12566	-6008	0	0	0	0	21771	-8111
1075	0	0	0	0	0	0	0	0	4810	453	11532	-5713	0	0	0	0	19897	-7713
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	-503	-5341	6008	-12566	0	0	0	0	8111	-21771
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	-453	-4810	5713	-11532	0	0	0	0	7713	-19897
max	min																	
21771	-21771																	

A questi devono essere sommati gli effetti di vento e sisma che, non agendo sul piano degli appoggi, producono degli effetti aggiuntivi dovuti al trasporto tra punto di applicazione della forza e posizione degli appoggi.

EFFETTI GLOBALI + VENTO

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		VENTO		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1001	0	0	0	0	0	0	0	0	5341	503	12566	-6008	0	0	0	0	20735	-6083
1075	0	0	0	0	0	0	0	0	4810	453	11532	-5713	0	0	0	0	18891	-5784
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	-503	-5341	6008	-12566	0	0	0	0	6083	-20735
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	-453	-4810	5713	-11532	0	0	0	0	5784	-18891
max	min																	
20735	-20735																	

EFFETTI GLOBALI + SISMA

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		SISMA		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1001	0	0	0	0	0	0	0	0	5341	503	12566	-6008	0	0	148670	-148670	151341	-148670
1075	0	0	0	0	0	0	0	0	4810	453	11532	-5713	0	0	149127	-149127	151532	-149127
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	-503	-5341	6008	-12566	0	0	148670	-148670	148670	-151341
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	-453	-4810	5713	-11532	0	0	149127	-149127	149127	-151532
max	min																	
151532	-151532																	

## INVILUPPO DEI TAGLI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		FASE3r		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1001	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	28	-14	0	0	0	0	52	-19
1075	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	26	-13	0	0	0	0	48	-18
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	28	-14	0	0	0	0	52	-19
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	26	-13	0	0	0	0	48	-18
max	min																	
52	-19																	

A questi devono essere sommati gli effetti di vento e sisma che, non agendo sul piano degli appoggi, producono degli effetti aggiuntivi dovuti al trasporto tra punto di applicazione della forza e posizione degli appoggi.

### EFFETTI GLOBALI + VENTO

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		VENTO		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1001	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	28	-14	0	0	0	0	43	-14
1075	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	26	-13	0	0	0	0	40	-13
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	28	-14	0	0	0	0	43	-14
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	26	-13	0	0	0	0	40	-13
max	min																	
43	-14																	

### EFFETTI GLOBALI + SISMA

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		SISMA		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1001	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	28	-14	0	0	337	-337	343	-337
1075	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	26	-13	0	0	338	-338	343	-338
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	28	-14	0	0	337	-337	343	-337
2075	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	26	-13	0	0	338	-338	343	-338
max	min																	
343	-338																	

### 8.1.1.2. Effetti locali

Il carico che la trave di spina trasmette al diaframma allo S.L.U: è pari a 1215 kN, con questo valore viene calcolato il momento flettente e il taglio aggiuntivo da aggiungere alle sollecitazioni derivanti dagli effetti globali.

$$M = 1250 \times 800 / 8 = \pm 125000 \text{ kNcm}$$

$$V = 1250 / 2 = 625 \text{ kN}$$

### 8.1.1.3. Sollecitazioni compressive sugli elementi

Gli effetti locali e globali ponderati agenti sul diaframma sono:

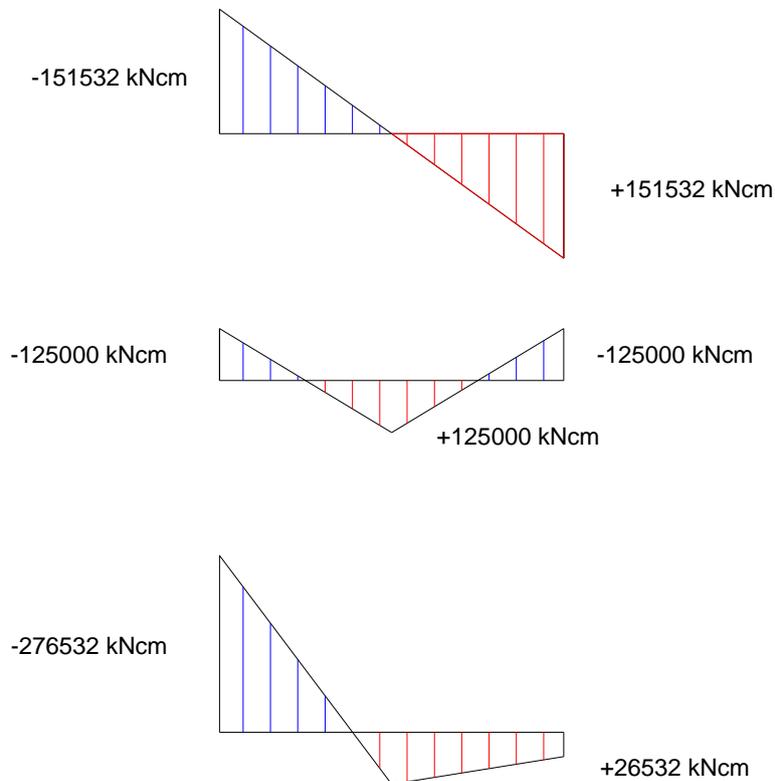


Figura 8.4 Momenti flettenti di verifica

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

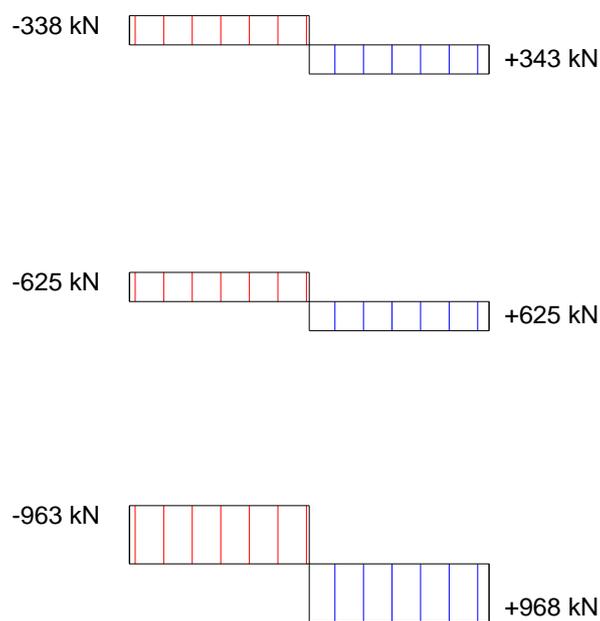


Figura 8.5 Tagli di verifica

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.1.1.4. Verifiche

#### VERIFICA DI INSTABILITA' FLESSO TORSIONALE

##### CALCOLO DEL MOMENTO CRITICO

##### Acciaio

$f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

$G = 8100 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_{M1} = 1.1$

##### Profilo

Sezione trasversale

Doppio T - H simmetrico

##### Lunghezza libera di inflessione

$L_z = 400 \text{ cm}$

(distanza di libera inflessione nel piano debole)

$L_y = 800 \text{ cm}$

(distanza di libera inflessione nel piano forte)

$L_t = 400 \text{ cm}$

(distanza tra due vincoli torsionali)

##### CARATTERISTICHE PROFILO

$I_y = 3223903 \text{ cm}^4$

$W_{y,el} = 29990 \text{ cm}^3$

$W_{z,el} = 1077 \text{ cm}^3$

$A = 540 \text{ cm}^2$

$I_z = 21538 \text{ cm}^4$

$W_{y,pl} = 37074 \text{ cm}^3$

$W_{z,pl} = 1768 \text{ cm}^3$

$A_{eff} = \text{ } \text{cm}^2$

$I_t = 617 \text{ cm}^4$

$W_{y,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$W_{z,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$I_w = 241968000 \text{ cm}^6$

##### SOLLECITAZIONI

$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 276532 \text{ kN}\cdot\text{cm}$

$M_{z,Ed} = 0 \text{ kN}\cdot\text{cm}$

##### TIPO DI CARICO

1 Carico Distribuito - Appoggio

$k = 1$

(1 = vincoli di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli di estremità a incastro)

$k_w = 1$

(1 = vincoli torsionali di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli torsionali di estremità a incastro)

$C_1 = 1.132$

$C_2 = 0.459$

(N.B. Se  $C_2 = 0$   $M_{cr}$  è indipendente da  $z_g$ )

$C_3 = 0.525$

$z_s = 0 \text{ cm}$

(se il profilo è doppiamente simmetrico =0)

$z_a = 0 \text{ cm}$

Punto di applicazione del carico (>0 se in zona compressa)

$z_y = (z_a - z_s) = 0 \text{ cm}$

$z_1 = 0.00 \text{ cm}$

$M_{cr} = 3370752 \text{ kN}\cdot\text{cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

**VERIFICA DI STABILITA' FLESSO TORSIONALE**

classe profilo

$\lambda_{LT} = 0.625 > \lambda_{LT,0} = 0.4$  Verifica a svergolamento non necessaria

$M_{ED} = 276532 \text{ kNcm}$

$M_{ED}/M_{cr} = 0.082 < \lambda_{LT,0}^2 = 0.16$  Verifica a svergolamento non necessaria

Tipologia profilo (1 = laminato - 2 = saldato)

Altezza  cm  
Larghezza  cm

curva di stabilit  d  
 $\alpha_{LT} = 0.76$   $\beta = 1$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ but } \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Fattore di correzione per il diagramma del momento

$k_c =$    
 $f = 0.972$

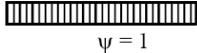
$\Phi_{LT} = 0.781$   
 $\chi_{LT} = 0.824$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,Rd} = 985991 \text{ kNcm}$   $M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0.280 \leq 1$

**VERIFICA SODDISFATTA**

**Table 6.6: Correction factors  $k_c$**

Moment distribution	$k_c$
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

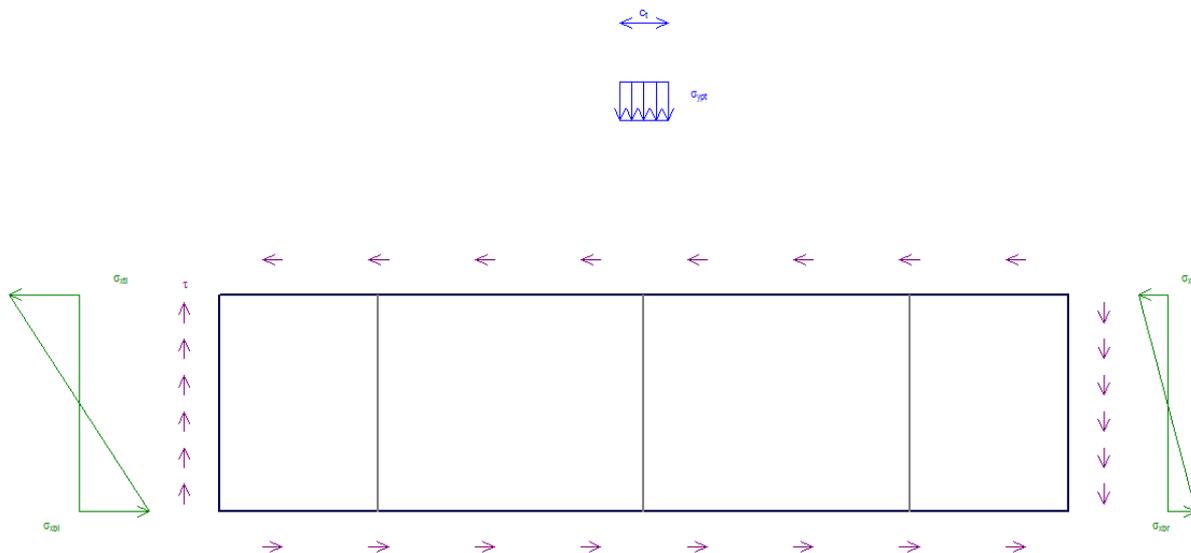
VERIFICA AD IMBOZZAMENTO DEL PANNELLO D'ANIMA

Le tensioni utilizzate ai fini della verifica sono calcolate con le sollecitazioni riportate in precedenza.

La verifica è stata condotta su un pannello d'anima con la geometria indicata in seguito:

- Larghezza        800cm
- Altezza         212cm
- Spessore        1.8 cm

In seguito si riporta uno schema delle sollecitazioni agenti sull'anima del traverso e il relativo valore:

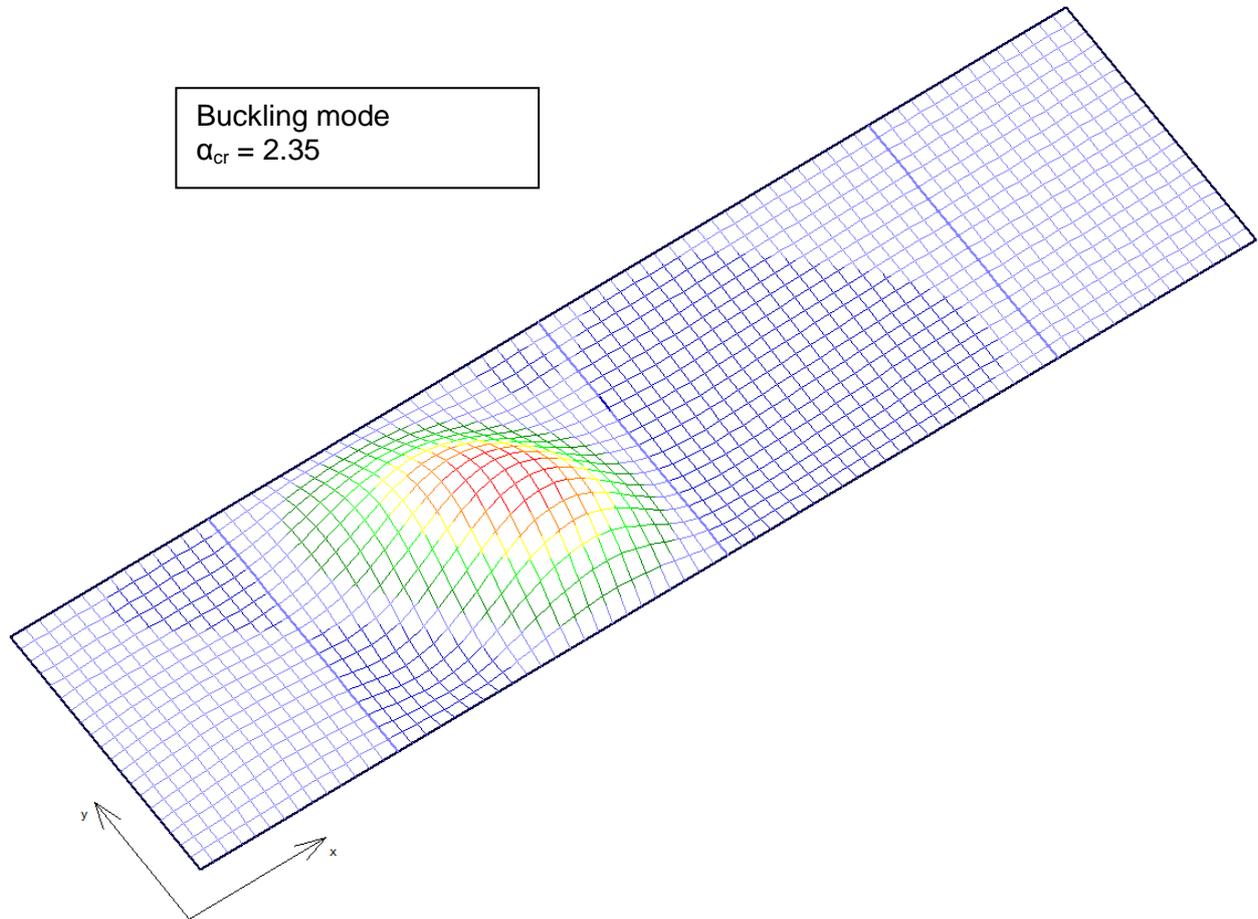


In seguito si riportano i valori di tensione considerati

Diagramma delle tensioni – Sinistra	$\sigma_{xtl} = -143 \text{ MPa}$	$\sigma_{xbl} = 143 \text{ MPa}$
Diagramma delle tensioni – Destra	$\sigma_{xtr} = 58 \text{ MPa}$	$\sigma_{xbr} = -58 \text{ MPa}$
Tensione tangenziale	$\tau = 40 \text{ MPa}$	
Tensione trasversale distribuita	$\sigma_{ypt} = 80 \text{ MPa}$	

La tensione trasversale concentrata  $\sigma_{ypt}$  è dovuta alla reazione trasmessa dalla trave di spina.

Il primo modo di instabilità è rappresentato nella seguente figura, in cui viene riportato anche l' $\alpha_{cr}$ :



In seguito si riporta la verifica:

PROGETTAZIONE ATI:

STABILITA' FLESSO TORSIONALE - METODO GENERALE EC3-1-1

$$f_{yk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = 14.3 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha_{ult,k} = f_{yk} / \sigma_{Ed} = 2.48$$

$$\alpha_{cr,op} = 2.35$$

$$\lambda_{op} = (\alpha_{ult,k} / \alpha_{cr,op})^{0.5} = 1.0278086$$

curva di instabilità

$$\alpha = 0.49$$

$$\Phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda_{op} - 0.2) + \lambda_{op}^2) = 1.23$$

$$X_{op} = 1 / (\Phi + (\Phi^2 - \lambda_{op}^2)^{0.5}) = 0.52$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$X_{op} \alpha_{ult,k} / Y_{M1} = 1.30$$

Verificato

PROGETTAZIONE ATI:

## 8.1.2. DIAFRAMMI DI PILA

### 8.1.2.1. Sollecitazioni in esercizio

Di seguito si riportano i valori del momento flettente sui traversi in esercizio.

EFFETTI GLOBALI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		FASE3r		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1022	0	0	0	0	0	0	0	0	4835	464	4520	-168	0	0	0	0	10454	-227
1054	0	0	0	0	0	0	0	0	4916	472	4859	-275	0	0	0	0	10984	-371
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	-464	-4835	168	-4520	0	0	0	0	227	-10454
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	-472	-4916	275	-4859	0	0	0	0	371	-10984
	max	min																
	10984	-10984																

Elemento	H briglie	Int. Travi	L diagonali	α diagonali	R spina	N Briglie, totale		diaframma	max	min
						max	min			
1022	440	800	595	48	1250	711	687	PILA		
1054	440	800	595	48	1250	712	687	PILA	712	662
2022	440	800	595	48	1250	688	664	PILA		
2054	440	801	595	48	1251	687	662	PILA		

A questi devono essere sommati gli effetti di vento e sisma che, non agendo sul piano degli appoggi, producono degli effetti aggiuntivi dovuti al trasporto tra punto di applicazione della forza e posizione degli appoggi.

EFFETTI GLOBALI + VENTO

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		VENTO		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1022	0	0	0	0	0	0	0	0	4835	464	4520	-168	0	0	0	0	11829	-170
1054	0	0	0	0	0	0	0	0	4916	472	4859	-275	0	0	0	0	12294	-278
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	-464	-4835	168	-4520	0	0	0	0	170	-11829
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	-472	-4916	275	-4859	0	0	0	0	278	-12294
	max	min																
	12294	-12294																

Elemento	H briglie	Int. Travi	L diagonali	α diagonali	R spina	N Briglie, totale		diaframma	max	min
						max	min			
1022	440	800	595	48	1250	714	687	PILA		
1054	440	800	595	48	1250	715	687	PILA	715	659
2022	440	800	595	48	1250	688	661	PILA		
2054	440	801	595	48	1251	687	659	PILA		

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

**EFFETTI GLOBALI + SISMA**

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		SISMA		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1022	0	0	0	0	0	0	0	0	4835	464	4520	-168	0	0	256247	-256247	258665	-256247
1054	0	0	0	0	0	0	0	0	4916	472	4859	-275	0	0	255932	-255932	258390	-255932
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	-464	-4835	168	-4520	0	0	256247	-256247	256247	-258665
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	-472	-4916	275	-4859	0	0	255932	-255932	255932	-258390
	max	min																
	258665	-258665																

Elemento	H briglie	Int. Travi	L diagonali	$\alpha$ diagonali	R spina	N Briglie, totale			diaframma	max	min
						max	min	diaframma			
1022	440	800	595	48	230	714	-456	PILA			
1054	440	800	595	48	230	714	-455	PILA	714	-461	
2022	440	800	595	48	230	709	-461	PILA			
2054	440	801	595	48	230	708	-461	PILA			

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

Di seguito si riportano i valori del taglio sui traversi in esercizio.

EFFETTI GLOBALI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		FASE3r		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1022	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	10	0	0	0	0	0	27	0
1054	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	0	0	0	0	0	28	0
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	10	0	0	0	0	0	27	0
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	0	0	0	0	0	28	0
	max	min																
	28	0																

Elemento	H briglie	Int. Travi	L diagonali	$\alpha$ diagonali	R spina	N Briglie, totale			max	min
						max	min	diaframma		
1022	440	800	595	48	1250	-893	-929	di		
1054	440	800	595	48	1250	-891	-929	di	-891	-929
2022	440	800	595	48	1250	-893	-929	di		
2054	440	800	595	48	1250	-891	-929	di		

A questi devono essere sommati gli effetti di vento e sisma che, non agendo sul piano degli appoggi, producono degli effetti aggiuntivi dovuti al trasporto tra punto di applicazione della forza e posizione degli appoggi.

EFFETTI GLOBALI + VENTO

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		VENTO		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1022	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	10	0	0	0	0	0	23	0
1054	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	0	0	0	0	0	24	0
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	10	0	0	0	0	0	23	0
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	0	0	0	0	0	24	0
	max	min																
	24	0																

Elemento	H briglie	Int. Travi	L diagonali	$\alpha$ diagonali	R spina	N Briglie, totale			max	min
						max	min	diaframma		
1022	440	800	595	48	1250	-898	-929	di		
1054	440	800	595	48	1250	-896	-929	di	-896	-929
2022	440	800	595	48	1250	-898	-929	di		
2054	440	800	595	48	1250	-896	-929	di		

EFFETTI GLOBALI + SISMA

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		SISMA		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1022	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	10	0	0	0	570	-570	576	-570
1054	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	0	0	0	569	-569	575	-569
2022	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	10	0	0	0	570	-570	576	-570
2054	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	11	0	0	0	569	-569	575	-569
	max	min																
	576	-570																

Elemento	H briglie	Int. Travi	L diagonali	$\alpha$ diagonali	R spina	N Briglie, totale			max	min
						max	min	diaframma		
1022	440	800	595	48	230	607	-941	di		
1054	440	800	595	48	230	605	-940	di	607	-941
2022	440	800	595	48	230	607	-941	di		
2054	440	800	595	48	230	605	-940	di		

### 8.1.2.2. Verifiche

#### Briglie

<b>2 angolari a cartella</b> <b>Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)</b>
---

Trazione	$N_T =$	750	[kN]
Compressione	$N_C =$	500	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	4000	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	4000	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	130	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	130	[mm]
Spessore	$t =$	12	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	18	[mm]
Acciaio	S 355		
Curva di stabilità	c		
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{MD} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{MD} =$	338	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm <sup>2</sup> ]
Curva CNR		510_c	

#### Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	2976	[mm <sup>2</sup> ]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	109896	[mm <sup>3</sup> ]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	109896	[mm <sup>3</sup> ]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	37	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	37	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	4797792	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	4797792	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-2846560	[mm <sup>4</sup> ]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	7644352	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	1951233	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	51	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	26	[mm]

#### Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	5952	[mm <sup>2</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	9595585	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	22150304	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	40	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	61	[mm]

#### Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_y =$	66	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_x =$	100	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	77	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	100	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	2.54	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1024	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	126	[N/mm <sup>2</sup> ] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	213	[N/mm <sup>2</sup> ] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

## Diagonali

<b>4 angolari a croce</b>
<b>Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)</b>

Trazione	$N_T = 1000$ [kN]
Compressione	$N_C = 1000$ [kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x = 5950$ [mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y = 5950$ [mm]
Lato lungo asse x	$b_x = 130$ [mm]
Lato lungo asse y	$b_y = 130$ [mm]
Spessore	$t = 12$ [mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x = 20$ [mm]
Piatto orizzontale, spessore lungo asse y	$t_y = 20$ [mm]
Acciaio	S 355
Curva di stabilità	c
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} = 355$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{MO} = 1.05$ [-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} = 1.10$ [-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{MO} = 338$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} = 323$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Curva CNR	510_c

### Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A = 2976$ [mm <sup>2</sup> ]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x = 109896$ [mm <sup>3</sup> ]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y = 109896$ [mm <sup>3</sup> ]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g = 37$ [mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g = 37$ [mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x = 4797792$ [mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y = 4797792$ [mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} = -2846560$ [mm <sup>4</sup> ]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha = 45$ [°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 = 7644352$ [mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 = 1951233$ [mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 = 51$ [mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 = 26$ [mm]

### Proprietà inerziali 4 angolari a croce

Area lorda	$A = 11904$ [mm <sup>2</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x = 45405952$ [mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y = 45405952$ [mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x = 62$ [mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y = 62$ [mm]

### Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x = 96$ [-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y = 96$ [-]
Snellezza aggiuntiva lungo assi x e y	$\lambda_0 = 40$ [-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} = 104$ [-]
Snellezza equivalente lungo asse y	$\lambda_{eq,y} = (\lambda_y^2 + \lambda_0^2)^{0.5} = 104$ [-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} = 104$ [-]
Coefficiente omega	$\omega = 2.72$ [-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} = 1024$ [mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T = 84$ [N/mm <sup>2</sup> ] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C = 228$ [N/mm <sup>2</sup> ] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.1.3. DIAFRAMMI INTERMEDI

#### 8.1.3.1. Sollecitazioni in esercizio

Le sollecitazioni sulle briglie dovute agli effetti globali possono essere calcolate una volta noti i momenti flettenti agenti sugli elementi che nel modello globale schematizzano i diaframmi intermedi. Nota la distanza fra le briglie si ricavano i carichi equivalenti da applicare alle briglie superiori e inferiori.

Noti, invece, i tagli agenti sugli elementi del modello globale e noto l'angolo di inclinazione delle diagonali, sono stati ricavati i carichi assiali equivalenti da applicare alle diagonali stesse.

Si rimanda alle tabelle successive in cui vengono calcolate le sollecitazioni nelle varie parti costituenti i diaframmi intermedi; in esse sono stati massimizzati il taglio e il momento sui frame che schematizzano i diaframmi nel modello, e sono stati calcolati gli sforzi nei profili effettivi come già specificato.

**INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI**

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento		FASE3		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)										
1003	0	0	0	0	0	0	0	0	-119	-1277	210	-2499	284	-4523
1006	0	0	0	0	0	0	0	0	-183	-1963	935	-4200	1262	-7437
1009	0	0	0	0	0	0	0	0	-177	-1909	1367	-4571	1845	-7889
1011	0	0	0	0	0	0	0	0	-121	-1303	1863	-4419	2515	-7138
1014	0	0	0	0	0	0	0	0	-36	-375	2797	-4281	3776	-6117
1017	0	0	0	0	0	0	0	0	887	84	2461	-2360	4121	-3186
1019	0	0	0	0	0	0	0	0	1917	182	2144	-987	4620	-1332
1025	0	0	0	0	0	0	0	0	1347	128	1497	-200	3233	-270
1027	0	0	0	0	0	0	0	0	328	31	1129	-1369	1819	-1848
1030	0	0	0	0	0	0	0	0	-68	-722	1232	-2665	1663	-4248
1033	0	0	0	0	0	0	0	0	-136	-1458	1061	-3371	1432	-5863
1035	0	0	0	0	0	0	0	0	-194	-2083	1046	-4123	1412	-7441
1038	0	0	0	0	0	0	0	0	-246	-2642	1023	-4929	1381	-9032
1041	0	0	0	0	0	0	0	0	-229	-2462	1014	-4626	1369	-8461
1043	0	0	0	0	0	0	0	0	-177	-1906	1084	-4028	1463	-7153
1046	0	0	0	0	0	0	0	0	-100	-1055	1321	-3293	1783	-5395
1049	0	0	0	0	0	0	0	0	478	45	1229	-1542	2089	-2082
1051	0	0	0	0	0	0	0	0	2056	195	2204	-200	4826	-270
1057	0	0	0	0	0	0	0	0	1339	127	1761	-893	3582	-1206
1059	0	0	0	0	0	0	0	0	579	55	2097	-2106	3352	-2843
1062	0	0	0	0	0	0	0	0	-33	-345	2417	-3648	3263	-5235
1065	0	0	0	0	0	0	0	0	-98	-1059	1733	-3833	2340	-6128
1067	0	0	0	0	0	0	0	0	-147	-1586	1339	-4019	1808	-6853
1070	0	0	0	0	0	0	0	0	-159	-1711	981	-3806	1324	-6678
1073	0	0	0	0	0	0	0	0	-114	-1228	318	-2514	429	-4499
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	1277	119	2499	-210	4523	-284
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	1963	183	4200	-935	7437	-1262
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	1909	177	4571	-1367	7889	-1845
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	1303	121	4419	-1863	7138	-2515
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	375	36	4281	-2797	6117	-3776
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	-84	-887	2360	-2461	3186	-4121
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	-182	-1917	987	-2144	1332	-4620
2025	0	0	0	0	0	0	0	0	-128	-1347	200	-1497	270	-3233
2027	0	0	0	0	0	0	0	0	-31	-328	1369	-1129	1848	-1819
2030	0	0	0	0	0	0	0	0	722	68	2665	-1232	4248	-1663
2033	0	0	0	0	0	0	0	0	1458	136	3371	-1061	5863	-1432
2035	0	0	0	0	0	0	0	0	2083	194	4123	-1046	7441	-1412
2038	0	0	0	0	0	0	0	0	2642	246	4929	-1023	9032	-1381
2041	0	0	0	0	0	0	0	0	2462	229	4626	-1014	8461	-1369
2043	0	0	0	0	0	0	0	0	1906	177	4028	-1084	7153	-1463
2046	0	0	0	0	0	0	0	0	1055	100	3293	-1321	5395	-1783
2049	0	0	0	0	0	0	0	0	-45	-478	1542	-1229	2082	-2089
2051	0	0	0	0	0	0	0	0	-195	-2056	200	-2204	270	-4826
2057	0	0	0	0	0	0	0	0	-127	-1339	893	-1761	1206	-3582
2059	0	0	0	0	0	0	0	0	-55	-579	2106	-2097	2843	-3352
2062	0	0	0	0	0	0	0	0	345	33	3648	-2417	5235	-3263
2065	0	0	0	0	0	0	0	0	1059	98	3833	-1733	6128	-2340
2067	0	0	0	0	0	0	0	0	1586	147	4019	-1339	6853	-1808
2070	0	0	0	0	0	0	0	0	1711	159	3806	-981	6678	-1324
2073	0	0	0	0	0	0	0	0	1228	114	2514	-318	4499	-429

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

Elemento						N Briglie, totale	
	H briglie	Int. Travi	L diagonali	$\alpha$ diagonali	R spina	max	min
1003	186	800	441	25	1250	292	266
1006	199	800	447	26	1250	317	274
1009	217	800	455	28	1250	348	303
1011	244	800	469	31	1250	392	352
1014	277	800	487	35	1250	446	411
1017	321	800	513	39	1250	514	492
1019	376	800	549	43	1250	600	584
1025	359	800	537	42	1250	570	560
1027	290	800	494	36	1250	459	447
1030	241	800	467	31	1250	383	359
1033	207	800	450	27	1250	330	295
1035	183	800	440	25	1250	294	245
1038	180	800	439	24	1250	289	231
1041	183	800	440	25	1250	293	240
1043	207	800	450	27	1250	331	289
1046	241	800	467	31	1250	384	354
1049	290	800	494	36	1250	460	446
1051	359	800	537	42	1250	574	560
1057	376	800	549	43	1250	597	584
1059	321	800	513	39	1250	512	493
1062	277	800	487	35	1250	445	414
1065	244	800	469	31	1250	391	356
1067	217	800	455	28	1250	347	307
1070	199	800	447	26	1250	318	277
1073	186	800	441	25	1250	293	266
2003	186	800	441	25	1250	315	289
2006	199	800	447	26	1250	348	305
2009	217	800	455	28	1250	375	331
2011	244	800	469	31	1250	411	371
2014	277	800	487	35	1250	455	419
2017	321	800	513	39	1250	511	489
2019	376	800	549	43	1250	591	575
2025	359	800	537	42	1250	562	552
2027	290	800	494	36	1250	459	447
2030	241	800	467	31	1250	394	370
2033	207	800	450	27	1250	352	317
2035	183	800	440	25	1250	327	278
2038	180	800	439	24	1250	331	274
2041	183	801	440	25	1250	332	278
2043	207	802	451	27	1250	357	316
2046	241	803	468	31	1250	398	368
2049	290	804	496	36	1250	458	444
2051	359	805	539	42	1250	558	544
2057	376	806	551	43	1250	586	574
2059	321	807	516	39	1250	506	487
2062	277	808	490	34	1250	447	417
2065	244	809	472	31	1250	402	367
2067	217	810	459	28	1250	366	327
2070	199	811	452	26	1250	340	300
2073	186	812	447	25	1250	311	284

Lo sforzo normale massimo nelle briglie risulta:

N = - 0 kN compressione

N = + 600 kN trazione

PROGETTAZIONE ATI:

**INVILUPPO DEI TAGLI**

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento		FASE3		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1003	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	0	-6	0	-12
1006	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	2	-10	3	-18
1009	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	3	-10	4	-18
1011	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	4	-10	5	-17
1014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	-10	8	-14
1017	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	-5	11	-7
1019	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	5	-2	12	-3
1025	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	8	0
1027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-3	4	-4
1030	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	3	-6	4	-11
1033	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	2	-8	3	-14
1035	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-5	2	-9	3	-18
1038	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-6	2	-11	3	-22
1041	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-6	2	-10	3	-21
1043	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	2	-9	3	-17
1046	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	3	-7	4	-12
1049	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	-3	5	-4
1051	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	0	13	0
1057	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4	-2	9	-3
1059	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	-5	8	-7
1062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	-8	7	-11
1065	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	4	-9	5	-15
1067	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	3	-9	4	-17
1070	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	2	-9	3	-17
1073	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	0	-6	0	-12
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	0	-6	0	-12
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	2	-10	3	-18
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	3	-10	4	-18
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	4	-10	5	-17
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	-10	8	-14
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	-5	11	-7
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	5	-2	12	-3
2025	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	8	0
2027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-3	4	-4
2030	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	3	-6	4	-11
2033	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	2	-8	3	-14
2035	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	-5	2	-9	3	-18
2038	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-6	2	-11	3	-22
2041	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-6	2	-10	3	-21
2043	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	2	-9	3	-17
2046	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	3	-7	4	-12
2049	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	-3	5	-4
2051	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	0	13	0
2057	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4	-2	9	-3
2059	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	5	-5	8	-7
2062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	-8	7	-11
2065	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2	4	-9	5	-15
2067	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	3	-9	4	-17
2070	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	-4	2	-9	3	-17
2073	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-3	0	-6	0	-12

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

Elemento						N Briglie, totale		diaframma
	H briglie	Int. Travi	L diagonali	$\alpha$ diagonali	R spina	max	min	
1003	221	800	441	25	1250	-689	-713	di
1006	234	800	447	26	1250	-693	-733	di
1009	252	800	455	28	1250	-704	-744	di
1011	279	800	469	31	1250	-723	-761	di
1014	312	800	487	35	1250	-748	-781	di
1017	356	800	513	39	1250	-786	-811	di
1019	411	800	549	43	1250	-842	-861	di
1025	394	800	537	42	1250	-829	-840	di
1027	325	800	494	36	1250	-766	-778	di
1030	276	800	467	31	1250	-723	-747	di
1033	242	800	450	27	1250	-699	-731	di
1035	218	800	440	25	1250	-682	-724	di
1038	215	800	439	24	1250	-680	-730	di
1041	218	800	440	25	1250	-682	-729	di
1043	242	800	450	27	1250	-699	-735	di
1046	276	800	467	31	1250	-723	-750	di
1049	325	800	494	36	1250	-764	-778	di
1051	394	800	537	42	1250	-822	-840	di
1057	411	800	549	43	1250	-846	-861	di
1059	356	800	513	39	1250	-790	-811	di
1062	312	800	487	35	1250	-750	-777	di
1065	279	800	469	31	1250	-723	-757	di
1067	252	800	455	28	1250	-704	-742	di
1070	234	800	447	26	1250	-693	-730	di
1073	221	800	441	25	1250	-689	-713	di
2003	221	800	441	25	1250	-689	-713	di
2006	234	800	447	26	1250	-693	-733	di
2009	252	800	455	28	1250	-704	-744	di
2011	279	800	469	31	1250	-723	-761	di
2014	312	800	487	35	1250	-748	-781	di
2017	356	800	513	39	1250	-786	-811	di
2019	411	800	549	43	1250	-842	-861	di
2025	394	800	537	42	1250	-829	-840	di
2027	325	800	494	36	1250	-766	-778	di
2030	276	800	467	31	1250	-723	-747	di
2033	242	800	450	27	1250	-699	-731	di
2035	218	800	440	25	1250	-682	-724	di
2038	215	800	439	24	1250	-680	-730	di
2041	218	801	440	25	1250	-682	-729	di
2043	242	802	451	27	1250	-698	-735	di
2046	276	803	468	31	1250	-722	-749	di
2049	325	804	496	36	1250	-763	-777	di
2051	394	805	539	42	1250	-820	-837	di
2057	411	806	551	43	1250	-843	-858	di
2059	356	807	516	39	1250	-787	-808	di
2062	312	808	490	34	1250	-747	-775	di
2065	279	809	472	31	1250	-721	-755	di
2067	252	810	459	28	1250	-702	-740	di
2070	234	811	452	26	1250	-691	-729	di
2073	221	812	447	25	1250	-687	-711	di

Lo sforzo normale massimo nei diagonali risulta:

N = - 861 kN compressione

N = + 0 kN trazione

PROGETTAZIONE ATI:

### 8.1.3.2. VERIFICHE

#### Briglie

<b>2 angolari a cartella</b>	
<b>Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)</b>	

Trazione	$N_T =$	650	[kN]
Compressione	$N_C =$	0	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	4000	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	4000	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	130	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	130	[mm]
Spessore	$t =$	12	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	18	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm <sup>2</sup> ]
Curva CNR		510_c	

#### Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	2976	[mm <sup>2</sup> ]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	109896	[mm <sup>3</sup> ]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	109896	[mm <sup>3</sup> ]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	37	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	37	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	4797792	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	4797792	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-2846560	[mm <sup>4</sup> ]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	7644352	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	1951233	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	51	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	26	[mm]

#### Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	5952	[mm <sup>2</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	9595585	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	22150304	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	40	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	61	[mm]

#### Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	66	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	100	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	77	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	100	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	2.54	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1024	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	109	[N/mm <sup>2</sup> ] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	0	[N/mm <sup>2</sup> ] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

*Diagonali*

**4 angolari a croce**  
**Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)**

Trazione	$N_T =$	<b>900</b>	[kN]
Compressione	$N_C =$	<b>900</b>	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	<b>5500</b>	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	<b>5500</b>	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	<b>130</b>	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	<b>130</b>	[mm]
Spessore	$t =$	<b>10</b>	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	<b>18</b>	[mm]
Piatto orizzontale, spessore lungo asse y	$t_y =$	<b>18</b>	[mm]
Acciaio		<b>S 355</b>	
Curva di stabilità		<b>c</b>	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	<b>355</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	<b>1.05</b>	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	<b>1.10</b>	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	<b>338</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	<b>323</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]
Curva CNR		<b>510_c</b>	

*Proprietà inerziali 1 angolare singolo*

Area lorda	$A =$	<b>2500</b>	[mm <sup>2</sup> ]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	<b>90500</b>	[mm <sup>3</sup> ]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	<b>90500</b>	[mm <sup>3</sup> ]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	<b>36</b>	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	<b>36</b>	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	<b>4087233</b>	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	<b>4087233</b>	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	<b>-2433600</b>	[mm <sup>4</sup> ]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	<b>45</b>	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	<b>6520833</b>	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	<b>1653633</b>	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	<b>51</b>	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	<b>26</b>	[mm]

*Proprietà inerziali 4 angolari a croce*

Area lorda	$A =$	<b>10000</b>	[mm <sup>2</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	<b>36779333</b>	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	<b>36779333</b>	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	<b>61</b>	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	<b>61</b>	[mm]

*Verifica profilo composto*

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	<b>91</b>	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	<b>91</b>	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo assi x e y	$\lambda_0 =$	<b>40</b>	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	<b>99</b>	[-]
Snellezza equivalente lungo asse y	$\lambda_{eq,y} = (\lambda_y^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	<b>99</b>	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	<b>99</b>	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	<b>2.54</b>	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	<b>1029</b>	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	<b>90</b>	[N/mm <sup>2</sup> ] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	<b>229</b>	[N/mm <sup>2</sup> ] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

## 8.2. CONTROVENTI DI MONTAGGIO

### 8.2.1. VALORI MASSIMI DI VERIFICA ALLO SLU

CTVSUP					
Asta	Taglio	Sforzo Normale	Profilo	2L 120x12	2L 140x13
	kN	kN		715	1241
1	878	1241	2L 140x13	0	1241
2	806	1139	2L 140x13	0	1139
3	734	1037	2L 140x13	0	1037
4	698	986	2L 140x13	0	986
5	669	946	2L 140x13	0	946
6	608	859	2L 140x13	0	859
7	543	768	2L 140x13	0	768
8	498	704	2L 120x12	704	0
9	480	679	2L 120x12	679	0
10	417	590	2L 120x12	590	0
11	354	501	2L 120x12	501	0
12	300	424	2L 120x12	424	0
13	290	409	2L 120x12	409	0
14	227	320	2L 120x12	320	0
15	155	218	2L 120x12	218	0
16	101	142	2L 120x12	142	0
17	83	117	2L 120x12	117	0
18	11	15	2L 120x12	15	0
19	62	87	2L 120x12	87	0
20	98	138	2L 140x13	0	138
21	134	189	2L 140x13	0	189
22	813	1150	2L 140x13	0	1150
23	741	1048	2L 140x13	0	1048
24	705	997	2L 140x13	0	997
25	668	944	2L 140x13	0	944
26	597	844	2L 140x13	0	844
27	524	740	2L 140x13	0	740
28	506	715	2L 120x12	715	0
29	452	639	2L 120x12	639	0
30	380	537	2L 120x12	537	0
31	317	448	2L 120x12	448	0
32	308	435	2L 120x12	435	0
33	252	356	2L 120x12	356	0
34	191	269	2L 120x12	269	0
35	126	178	2L 120x12	178	0
36	108	153	2L 120x12	153	0
37	63	89	2L 120x12	89	0
38	0	0	2L 120x12	0	0
39	63	89	2L 120x12	89	0
40	108	153	2L 120x12	153	0
41	126	178	2L 120x12	178	0
42	189	267	2L 120x12	267	0
43	254	359	2L 120x12	359	0
44	308	435	2L 120x12	435	0
45	317	448	2L 120x12	448	0
46	380	537	2L 120x12	537	0
47	452	639	2L 120x12	639	0
48	506	715	2L 140x13	0	715
49	524	740	2L 140x13	0	740
50	596	842	2L 140x13	0	842
51	669	946	2L 140x13	0	946
52	705	997	2L 140x13	0	997
53	741	1048	2L 140x13	0	1048
54	206	291	2L 140x13	0	291
55	135	191	2L 140x13	0	191
56	98	138	2L 120x12	138	0
57	62	87	2L 120x12	87	0
58	11	15	2L 120x12	15	0
59	83	117	2L 120x12	117	0
60	101	142	2L 120x12	142	0
61	155	218	2L 120x12	218	0
62	227	320	2L 120x12	320	0
63	291	412	2L 120x12	412	0
64	300	424	2L 120x12	424	0
65	354	501	2L 120x12	501	0
66	417	590	2L 120x12	590	0
67	480	679	2L 120x12	679	0
68	498	704	2L 140x13	0	704
69	545	770	2L 140x13	0	770
70	606	857	2L 140x13	0	857
71	671	948	2L 140x13	0	948
72	698	986	2L 140x13	0	986
73	734	1037	2L 140x13	0	1037
74	804	1137	2L 140x13	0	1137

PROGETTAZIONE ATI:

**VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

201	417	590	2L 140x13	0	590
202	387	547	2L 140x13	0	547
203	353	499	2L 140x13	0	499
204	353	499	2L 140x13	0	499
205	320	452	2L 140x13	0	452
206	288	407	2L 140x13	0	407
207	257	363	2L 140x13	0	363
208	257	363	2L 120x12	363	0
209	224	316	2L 120x12	316	0
210	194	274	2L 120x12	274	0
211	161	227	2L 120x12	227	0
212	161	227	2L 120x12	227	0
213	129	182	2L 120x12	182	0
214	95	134	2L 120x12	134	0
215	60	85	2L 120x12	85	0
216	60	85	2L 120x12	85	0
217	23	32	2L 120x12	32	0
218	12	17	2L 120x12	17	0
219	50	70	2L 120x12	70	0
220	50	70	2L 140x13	0	70
221	84	119	2L 140x13	0	119
222	389	549	2L 140x13	0	549
223	353	499	2L 140x13	0	499
224	353	499	2L 140x13	0	499
225	315	445	2L 140x13	0	445
226	281	397	2L 140x13	0	397
227	243	344	2L 140x13	0	344
228	243	344	2L 120x12	344	0
229	209	295	2L 120x12	295	0
230	174	246	2L 120x12	246	0
231	143	202	2L 120x12	202	0
232	143	202	2L 120x12	202	0
233	110	155	2L 120x12	155	0
234	80	112	2L 120x12	112	0
235	47	66	2L 120x12	66	0
236	47	66	2L 120x12	66	0
237	17	23	2L 120x12	23	0
238	17	23	2L 120x12	23	0
239	47	66	2L 120x12	66	0
240	47	66	2L 120x12	66	0
241	80	112	2L 120x12	112	0
242	110	155	2L 120x12	155	0
243	143	202	2L 120x12	202	0
244	143	202	2L 120x12	202	0
245	174	246	2L 120x12	246	0
246	209	295	2L 120x12	295	0
247	243	344	2L 120x12	344	0
248	243	344	2L 140x13	0	344
249	281	397	2L 140x13	0	397
250	315	445	2L 140x13	0	445
251	353	499	2L 140x13	0	499
252	353	499	2L 140x13	0	499
253	389	549	2L 140x13	0	549
254	84	119	2L 140x13	0	119
255	50	70	2L 140x13	0	70
256	50	70	2L 120x12	70	0
257	12	17	2L 120x12	17	0
258	23	32	2L 120x12	32	0
259	60	85	2L 120x12	85	0
260	60	85	2L 120x12	85	0
261	95	134	2L 120x12	134	0
262	129	182	2L 120x12	182	0
263	161	227	2L 120x12	227	0
264	161	227	2L 120x12	227	0
265	194	274	2L 120x12	274	0
266	224	316	2L 120x12	316	0
267	257	363	2L 120x12	363	0
268	257	363	2L 140x13	0	363
269	288	407	2L 140x13	0	407
270	320	452	2L 140x13	0	452
271	353	499	2L 140x13	0	499
272	353	499	2L 140x13	0	499
273	387	547	2L 140x13	0	547
274	417	590	2L 140x13	0	590

PROGETTAZIONE ATI:

**2L 120 x 120 x 12**

**2 angolari a cartella**  
**Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)**

Trazione	$N_T =$	750	[kN]
Compressione	$N_C =$	0	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	7300	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	7300	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	120	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	120	[mm]
Spessore	$t =$	12	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	15	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{MO} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{MO} =$	338	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm <sup>2</sup> ]
Curva CNR		510_c	

*Proprietà inerziali 2 angolari a cartella*

Area lorda	$A =$	5472	[mm <sup>2</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	7465142	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	17081496	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	37	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	56	[mm]

*Verifica profilo composto*

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_y =$	131	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_x =$	198	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	137	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	198	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	7.83	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	944	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	137	[N/mm <sup>2</sup> ] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	0	[N/mm <sup>2</sup> ] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

**2L 140 x 140 x 13**

**2 angolari a cartella**  
**Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)**

Trazione	$N_T =$	1250	[kN]
Compressione	$N_C =$	0	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	7300	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	7300	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	140	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	140	[mm]
Spessore	$t =$	13	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	15	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm <sup>2</sup> ]
Curva CNR		510_c	

*Proprietà inerziali 2 angolari a cartella*

Area lorda	$A =$	6942	[mm <sup>2</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	12973217	[mm <sup>4</sup> ]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	28501779	[mm <sup>4</sup> ]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	43	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	64	[mm]

*Verifica profilo composto*

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_y =$	114	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_x =$	169	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	121	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	169	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	5.89	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1103	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	180	[N/mm <sup>2</sup> ] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	0	[N/mm <sup>2</sup> ] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

## 9. SOLETTA D'IMPALCATO

Nel presente capitolo si riportano i calcoli effettuati per le verifiche della soletta. La dimensione trasversale della soletta è costante ed è pari a 12.0 m.

### 9.1. DESCRIZIONE E MODALITÀ DI CALCOLO DELLA SOLETTA

La soletta d'impalcato viene realizzata mediante getto in opera su predalles in c.a. aventi spessore 6.0 cm per uno spessore totale finito di getto e predalles pari a 27 cm. L'intero impalcato viene coperto trasversalmente appoggiando le predalles isostaticamente sulle tre travi principali, con funzione di cassero a perdere per il getto integrativo della soletta. A getto maturato la soletta avrà uno schema statico di trave continua su tre appoggi.

Durante la realizzazione della soletta si considerano le seguenti tre fasi di carico:

#### Fase 1

Le predalles sono posate sulle travi con schema statico di trave semplicemente appoggiata.

Gli sbalzi presentano luce costante pari a 2.00 m; la campata ha luce pari a 4.00 m (interasse travi). Ciascuna predalle sostiene sé stessa, l'armatura integrativa ed il getto di completamento a spessore definitivo (21 cm).

In questa fase allo scopo di alleggerire le armature del traliccio la fase di getto della soletta è divisa in due fasi:

#### Fase 1-a

Inserendo un cassero in pernevoro-metal il getto di soletta sugli sbalzi è limitato a 0.75 m dalla veletta esterna, allo scopo di contenere le tensioni nei tralicci di armatura e poter sfruttare in seconda fase di getto una sezione di cemento armato.

#### Fase 1-b

Il getto di completamento dello sbalzo è eseguito una volta che il calcestruzzo gettato in prima fase abbia raggiunto una resistenza di almeno 20 MPa. In tale fase si montano anche le velette alle estremità degli sbalzi.

#### Fase 2

Lo schema statico è di trave continua, costituita dall'intero spessore di soletta (27 cm predalles compresa); i carichi in gioco sono i permanenti portati.

#### Fase 3

Lo schema statico è trave continua appoggiata sulle travi; i carichi sono i sovraccarichi accidentali. Le coppelle sono inoltre provviste di aree libere in corrispondenza delle piattabande superiori delle travi sottostanti al fine di consentire la disposizione dei connettori di tipo Nelson. Una volta disposte le lastre prefabbricate si procede alla posa delle barre di orditura longitudinali e delle barre di orditura integrativa trasversale.

## 9.2. FASE 1

Si riporta la verifica delle predalles per la fase I di getto della soletta considerando come elemento resistente la sola predalla in calcestruzzo armata di tralicci, per una lunghezza longitudinale di soletta di 1.00 m.

### 9.2.1. ANALISI DEI CARICHI

La fase 1 di getto è suddivisa in due fasi; una prima fase il getto di soletta sugli sbalzi è limitato a 0.75 m dalla veletta esterna, e una fase successiva di completamento di getto di soletta dello spessore di getto pari a 21 cm.

In questa fase si considerano agenti il peso proprio delle lastre prefabbricate, delle velette e del getto della soletta che è ancora inerte.

La struttura resistente in questa fase di carico è costituita unicamente dalla predalle armate dai tralicci di altezza 15 cm ad interasse 40 cm con ferro Ø18 superiore e 2 Ø16 inferiori correnti trasversalmente e con traliccio in ferri Ø10.

I carichi considerati in questa fase sono:

Predalla (6.0 cm)	$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.06 \text{ m}$	=	$1.50 \text{ kN/m}^2$
Soletta	$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.21 \text{ m}$	=	$5.25 \text{ kN/m}^2$
Velette	$1.0 \text{ kN/m} \times 2$	=	$2.0 \text{ kN/m}$

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante lo schema statico sotto riportato.

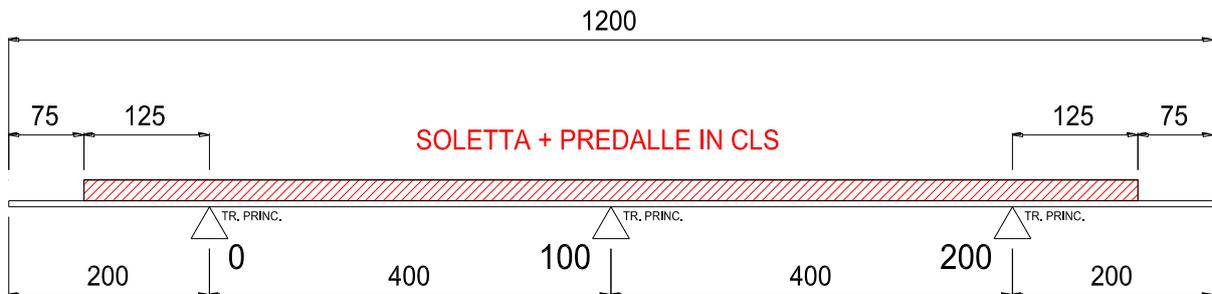


Figura 9.1 Fase 1-a

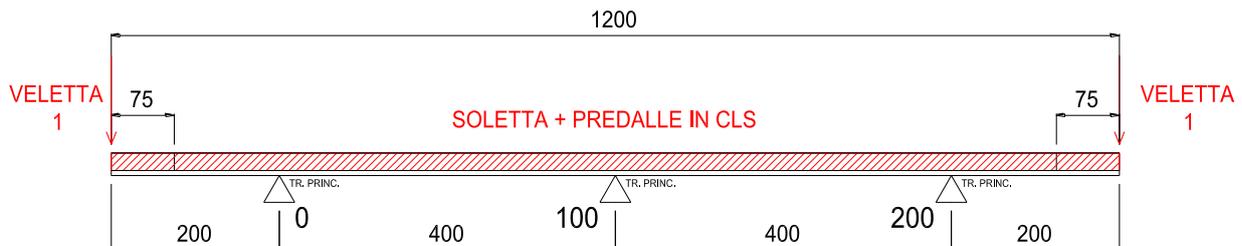


Figura 9.2 Fase 1-b

PROGETTAZIONE ATI:

## 9.2.2. MODELLO DI CALCOLO

La soletta è schematizzata come trave in semplice appoggio sulle travi principali.



Figura 9.3 Modello di calcolo soletta fase I

### 9.2.2.1. Carichi

#### Carichi di fase I-a

La prima fase di getto considera il peso proprio del calcestruzzo, in cui il getto di soletta sugli sbalzi è limitato a 0.75 m dalla veletta.

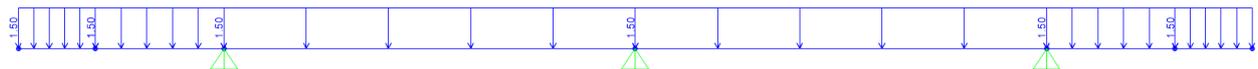


Figura 9.4 Carico predalles

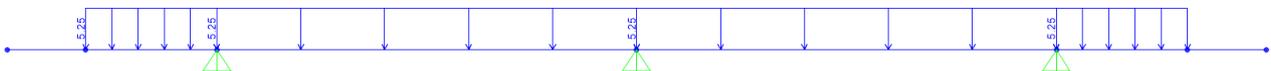


Figura 9.5 Carico getto calcestruzzo

#### Carichi di fase I-b

La fase successiva di getto prevede il montaggio delle velette ed il completamento della soletta che viene schematizzata considerando il peso proprio del calcestruzzo gettato per la lunghezza necessaria a portare a finito lo sbalzo e pari a 0.75 m dalla veletta esterna.

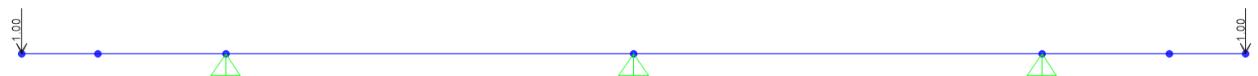


Figura 9.6 Carico velette di estremità



Figura 9.7 Carico getto calcestruzzo integrativo

PROGETTAZIONE ATI:

### 9.2.2.2. Sollecitazioni

#### Sollecitazioni di fase I-a

Si riportano le sollecitazioni di verifica nella condizione di carico elementare.

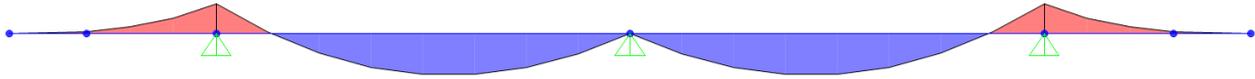


Figura 9.8. Momento flettente

Momento flettente minimo:  
Momento flettente massimo:

$$M_{SLE}^{-} = - 7.10 \text{ kNm/m}$$

$$M_{SLE}^{+} = 9.99 \text{ kNm/m}$$

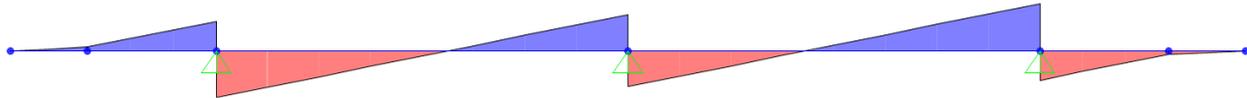


Figura 9.9. Taglio verticale

Taglio verticale lato sbalzo:  
Taglio verticale lato campata:

$$T_{SX,SLE} = 9.56 \text{ kN/m}$$

$$T_{DX,SLE} = 15.28 \text{ kN/m}$$

### Sollecitazioni di fase I-b

Si riportano le sollecitazioni di verifica nella condizione di carico elementare.

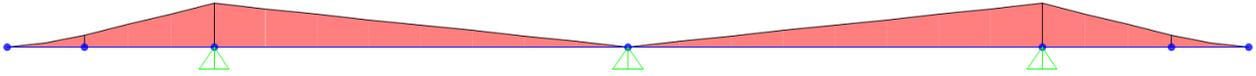


Figura 9.10. Momento flettente

Momento flettente minimo:

$$M_{SLE}^{-} = - 8.40 \text{ kNm/m}$$

Momento flettente massimo:

$$M_{SLE}^{+} = 0.00 \text{ kNm/m}$$

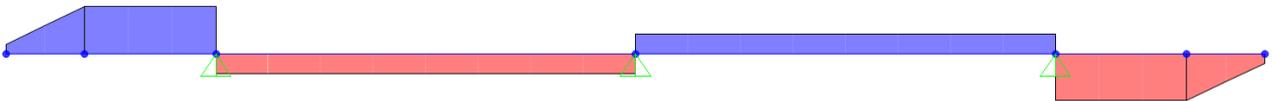


Figura 9.11. Taglio verticale

Taglio verticale lato sbalzo:

$$T_{SX,SLE} = 4.94 \text{ kN/m}$$

Taglio verticale lato campata:

$$T_{DX,SLE} = 2.10 \text{ kN/m}$$

Verifica a traliccio predalles Fase 1

**Fase 1-a**

Momento flettente minimo:	$M^-SLU = -7.10 * 1.35 = -9.59 \text{ kNm/m}$
Momento flettente massimo:	$M^+SLU = 9.99 * 1.35 = 13.49 \text{ kNm/m}$
Taglio verticale lato sbalzo:	$T_{SX,SLU} = 9.56 * 1.35 = 12.91 \text{ kN/m}$
Taglio verticale lato campata:	$T_{DX,SLU} = 15.28 * 1.35 = 20.63 \text{ kN/m}$

**Fase 1-b**

Momento flettente minimo:	$M^-SLU = -8.40 * 1.35 = -11.34 \text{ kNm/m}$
Momento flettente massimo:	$M^+SLU = 0.00 * 1.35 = 0.00 \text{ kNm/m}$
Taglio verticale lato sbalzo:	$T_{SX,SLU} = 4.94 * 1.35 = 6.67 \text{ kN/m}$
Taglio verticale lato campata:	$T_{DX,SLU} = 2.10 * 1.35 = 2.84 \text{ kN/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

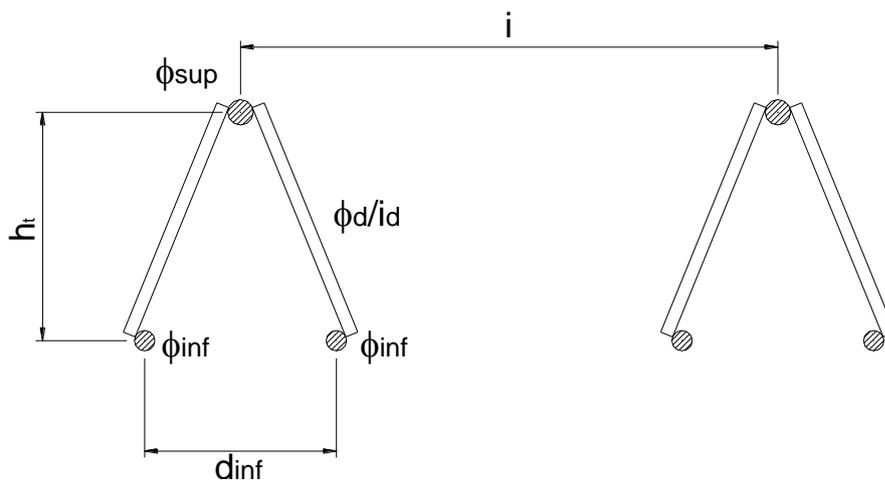
### 9.2.3. VERIFICA TRALICCIO PREDALLE FASE I-A

Caratteristiche di sollecitazione

Momento negativo massimo sull'appoggio	MB=	-9.59	kNm
Momento positivo massimo in campata	MC=	13.49	kNm
Taglio sx sull'appoggio	Vb sx=	12.91	kN
Taglio dx sull'appoggio	Vb dx=	20.63	kN

*Caratteristiche tralicci*

Altezza totale traliccio: ht	15	cm		
Altezza utile traliccio: ht	13.3	cm	=	0.133
Distanza ferri inf: d <sub>inf</sub>	10	cm	=	0.1
Diametro ferro sup: φ <sub>sup</sub>	1.8	cm	=	0.018
Diametro ferro sup: φ <sub>sup</sub>	0.0	cm	=	0
Diametro ferri inf: φ <sub>inf</sub>	1.6	cm	=	0.016
Diametro ferri inf: φ <sub>inf</sub>	1.6	cm	=	0.016
Diametro diagonali: φ <sub>d</sub>	1.0	cm	=	0.01
Interasse tralicci: i	40	cm	=	0.4
Interasse diagonali: id	20	cm	=	0.2
Peso totale sola armatura:			=	26.13
				kg/m <sup>2</sup>



PROGETTAZIONE ATI:

**Verifica a momento negativo**

M= -9.59 kNm  
N= -72.11 kN per ogni metro di soletta

n° di tralici per ogni metro di soletta 2.50

Sforzo normale nei correnti N= 28.8 kN

*Corrente superiore (teso)*

Verifica di resistenza  $\sigma = 1133 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

*Corrente inferiore (compresso)*

Verifica di resistenza  $\sigma = 717 \text{ daN/cm}^2$

Verifica di stabilità  $i = 0.4 \text{ cm}$

$L_0 = 20.00 \text{ cm}$

$\lambda = 50.00$

$\omega = 1.35$

$\sigma = 967 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

**Azioni nei diagonali dei tralici**

Verifica di stabilità  
Nd= 539 daN  
 $\sigma = 686 \text{ daN/cm}^2$   
 $i = 0.25 \text{ cm}$   
Ld= 17.37 cm  $\beta = 0.7$   
 $\lambda = (\Lambda\delta - 3) * \beta / i = 40.25$   
 $\omega = 1.22$

Portata residua dei diagonali  $\sigma = 837 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$   
s= 3076 daN/cm<sup>2</sup>

**Verifica a momento positivo**

M= 13.49 kNm  
N= 105.39 kN per ogni metro di soletta

n° di tralicci per ogni metro di soletta 2.50  
Sforzo normale nei correnti N= 42.2 kN

Corrente superiore (compresso)

Verifica di resistenza  $\sigma = 1657 \text{ daN/cm}^2$   
Verifica di stabilità  $i = 0.45 \text{ cm}$   
 $L_o = 20.00 \text{ cm}$   
 $\lambda = 44.44$   
 $\omega = 1.27$

$\sigma = 2105 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Corrente inferiore (teso)

Verifica di resistenza  $\sigma = 1048 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

**Azioni nei diagonali dei tralicci**

Verifica di stabilità Nd= 343 daN  
 $\sigma = 437 \text{ daN/cm}^2$   
 $i = 0.25 \text{ cm}$   
Ld= 17.00 cm  $\beta = 0.7$   
 $\lambda = (\Lambda\delta - 3) * \beta / i = 39.19$   
 $\omega = 1.21$

$\sigma = 527 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Portata residua dei diagonali s= 3386 daN/cm<sup>2</sup>

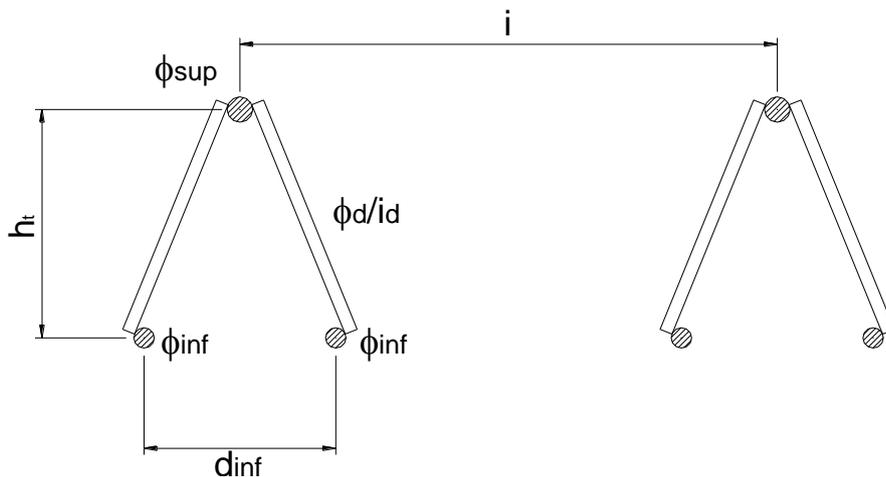
### 9.2.4. VERIFICA TRALICCIO PREDALLE FASE I-B

Caratteristiche di sollecitazione

Momento negativo massimo sull'appoggio	MB=	-11.34	kNm
Momento positivo massimo in campata	MC=	0.00	kNm
Taglio sx sull'appoggio	Vb sx=	6.67	kN
Taglio dx sull'appoggio	Vb dx=	2.84	kN

*Caratteristiche tralicci*

Altezza totale traliccio: ht	15 cm		
Altezza utile traliccio: ht	13.3 cm	=	0.133 m
Distanza ferri inf: dinf	10 cm	=	0.1 m
Diametro ferro sup: $\phi_{sup}$	1.8 cm	=	0.018 m
Diametro ferro sup: $\phi_{sup}$	0.0 cm	=	0 m
Diametro ferri inf: $\phi_{inf}$	1.6 cm	=	0.016 m
Diametro ferri inf: $\phi_{inf}$	1.6 cm	=	0.016 m
Diametro diagonali: $\phi_d$	1.0 cm	=	0.01 m
Interasse tralicci: i	40 cm	=	0.4 m
Interasse diagonali: id	20 cm	=	0.2 m
Peso totale sola armatura:		=	26.13 kg/m <sup>2</sup>



PROGETTAZIONE ATI:

**Verifica a momento negativo**

M= -11.34 kNm  
N= -85.26 kN per ogni metro di soletta

n° di tralici per ogni metro di soletta 2.50

Sforzo normale nei correnti N= 34.1 kN

*Corrente superiore (teso)*

Verifica di resistenza  $\sigma =$  **1340 daN/cm<sup>2</sup>** < **3913 daN/cm<sup>2</sup>**

*Corrente inferiore (compresso)*

Verifica di resistenza  $\sigma =$  848 daN/cm<sup>2</sup>

Verifica di stabilità  $i =$  0.4 cm

$L_0 =$  20.00 cm

$\lambda =$  50.00

$\omega =$  1.35

$\sigma =$  **1143 daN/cm<sup>2</sup>** < **3913 daN/cm<sup>2</sup>**

**Azioni nei diagonali dei tralici**

Verifica di stabilità Nd= 74 daN

$\sigma =$  94 daN/cm<sup>2</sup>

$i =$  0.25 cm

Ld= 17.37 cm

$\beta = 0.7$

$\lambda = (\Lambda\delta - 3) * \beta / i$  40.25

$\omega =$  1.22

$\sigma =$  **115 daN/cm<sup>2</sup>** < **3913 daN/cm<sup>2</sup>**

Portata residua dei diagonali s= 3798 daN/cm<sup>2</sup>

**Verifica a momento positivo**

M= 0.00 kNm  
N= 0.00 kN per ogni metro di soletta

n° di tralicci per ogni metro di soletta 2.50  
Sforzo normale nei correnti N= 0.0 kN

**Corrente superiore (compresso)**

Verifica di resistenza  $\sigma=$  0 daN/cm<sup>2</sup>  
Verifica di stabilità  
i= 0.45 cm  
Lo= 20.00 cm  
 $\lambda=$  44.44  
 $\omega=$  1.27

$\sigma=$  **0 daN/cm<sup>2</sup>** < **3913 daN/cm<sup>2</sup>**

**Corrente inferiore (teso)**

Verifica di resistenza  $\sigma=$  **0 daN/cm<sup>2</sup>**

< **3913 daN/cm<sup>2</sup>**

**Azioni nei diagonali dei tralicci**

Verifica di stabilità Nd= 177 daN  
 $\sigma=$  226 daN/cm<sup>2</sup>  
i= 0.25 cm  
Ld= 17.00 cm  $\beta= 0.7$   
 $\lambda=(\Lambda\delta-3)*\beta/i$  39.19  
 $\omega=$  1.21

$\sigma=$  **272 daN/cm<sup>2</sup>** < **3913 daN/cm<sup>2</sup>**

Portata residua dei diagonali s= 3641 daN/cm<sup>2</sup>

### 9.3. FASE II

Si riportano le caratteristiche di sollecitazione della soletta per la fase II in cui sono messi in opera tutti i carichi permanenti previsti, considerando la soletta come una sezione in cemento armato di spessore 27 cm.

I valori delle sollecitazioni, ricavati direttamente dai modelli globali saranno combinati con le sollecitazioni dovute ai carichi di traffico di fase III, con le sollecitazioni dovute a ritiro e termica e con quelle dovute al carico vento, secondo le combinazioni di carico agli SLU ed utilizzate per le verifiche di resistenza.

#### 9.3.1. ANALISI DEI CARICHI

In questa fase la soletta è interamente reagente ed i carichi agenti sono i permanenti portati di impalcato come pavimentazione, cordoli, sicurvia impianti, etc.

Pavimentazione	$3.00 \text{ kN/m}^2 \times 10.50 \text{ m}$	=	31.50 kN/m
Cordoli	$4.25 \text{ kN/m}^2 \times 0.75 \times 2$	=	6.38 kN/m
Guard Rail con rete integrata	$3.0 \times 2 \text{ kN/m}$	=	6.00 kN/m
Impianto smaltimento acque	$1.5 \times 2 \text{ kN/m}$	=	3.0 kN/m
Getto di completamento in cls	$5.25 \text{ kN/m}^2 \times 0.75 \text{ m} \times 2$	=	7.88 kN/m
			54.76 kN/m

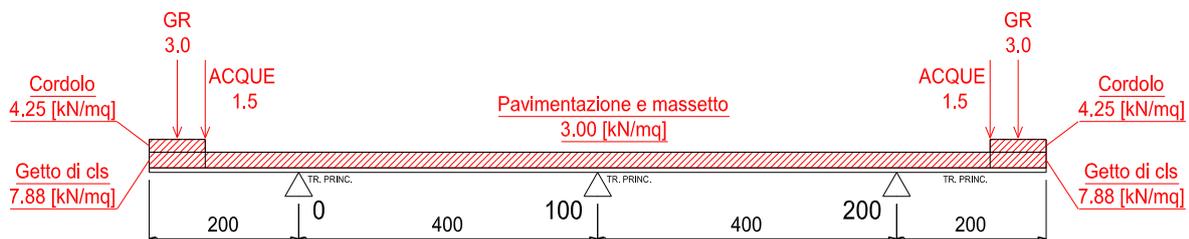


Figura 9.12 Schema di carico fase 2

### 9.3.2. MODELLO DI CALCOLO

Nel calcolo di Fase 2 la soletta è modellata come trave continua su tre appoggi



Figura 9.13 Modello di calcolo della soletta Fase 2

#### 9.3.2.1. Carichi

Si riportano le illustrazioni dei carichi applicati nel modello di calcolo

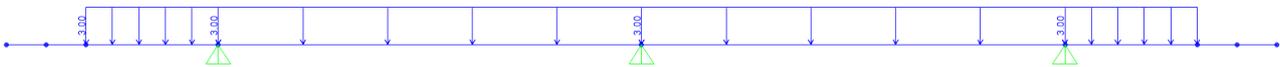


Figura 9.14 Carico pavimentazione

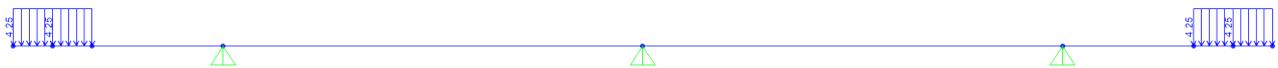


Figura 9.15 Carico cordolo



Figura 9.16 Carico getto di soletta integrativa



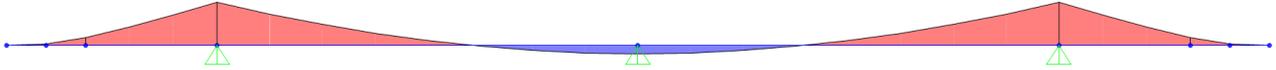
Figura 9.17 Carico Guard Rail



Figura 9.18 Carico smaltimento acque

PROGETTAZIONE ATI:

**9.3.2.2. Sollecitazioni di fase 2**



**Figura 9.19 Momento flettente Fase 2**

Momento flettente minimo:  
Momento flettente massimo:

$$M_{SLE}^{-} = - 20.67 \text{ kNm/m}$$

$$M_{SLE}^{+} = 3.93 \text{ kNm/m}$$



**Figura 9.20 Taglio verticale fase 2**

Taglio verticale lato sbalzo:  
Taglio verticale lato campata:

$$T_{SX,SLE} = 15.38 \text{ kN/m}$$

$$T_{DX,SLE} = 12.15 \text{ kN/m}$$

Tali valori di sollecitazione saranno sommati ai valori delle sollecitazioni dovuti ai carichi di fase III.

## 9.4. FASE III

### 9.4.1. RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI MOBILI SU SOLETTA

La ripartizione trasversale dei carichi è stata eseguita considerando le condizioni di carico di seguito riportate, in esse il valore del carico concentrato rappresenta la coppia in direzione longitudinale di ruote, mentre i carichi distribuiti sono valutati a metro lineare. Essendo la coppia di carichi concentrati ad interasse superiore al metro lineare (1.20 m) ed essendo carichi che hanno una diffusione longitudinale degli effetti, il calcolo delle sollecitazioni da essi prodotta è poi diviso per le effettive larghezze collaboranti calcolate caso per caso.

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante uno schema statico di trave su 3 appoggi con due sbalzi esterni aventi le misure sopra indicate, disponendo i carichi secondo le linee di influenza allo scopo di massimizzarne gli effetti sugli sbalzi e sugli appoggi della soletta sulle travi.

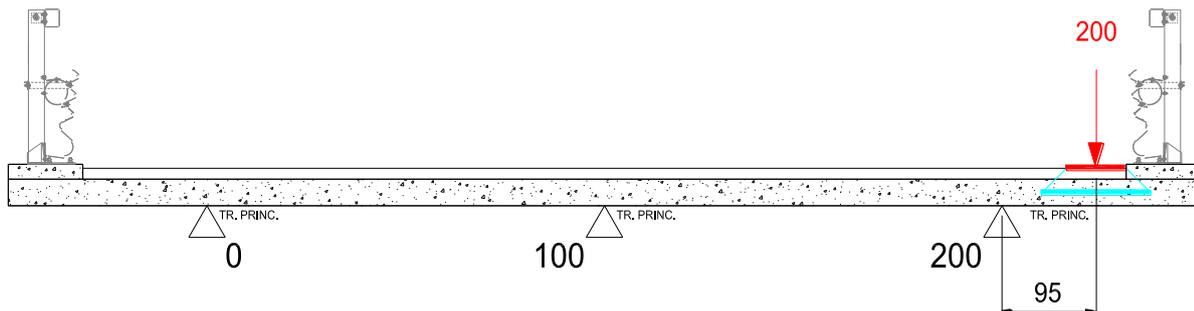


Figura 9-21. Minimo momento negativo su trave esterna - Schema di carico 2

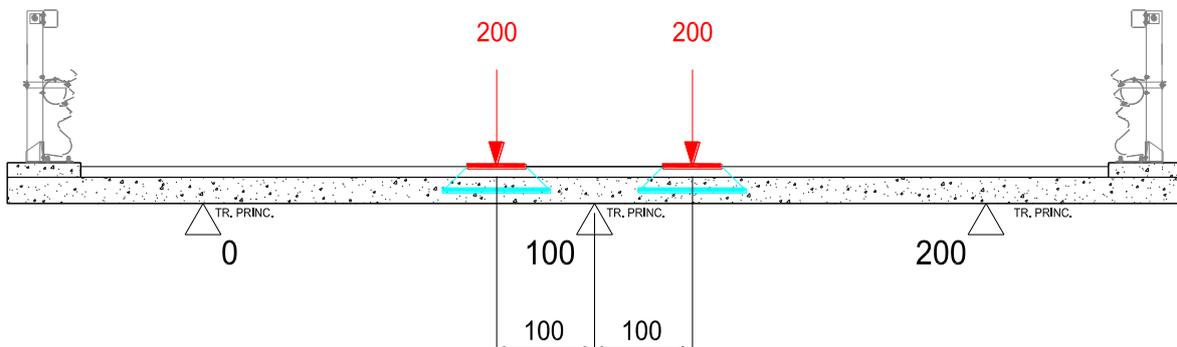


Figura 9-22. Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 2

PROGETTAZIONE ATI:

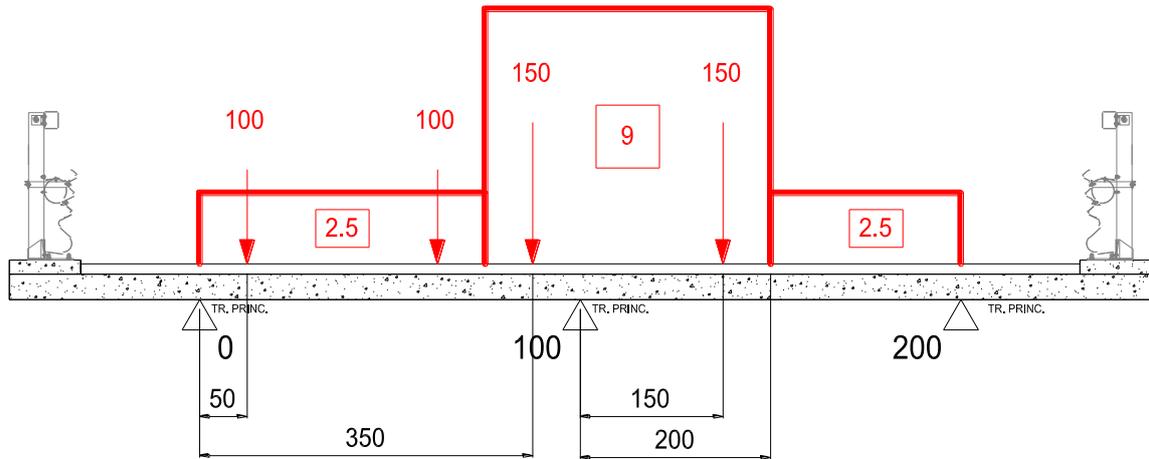


Figura 9-23. Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 1

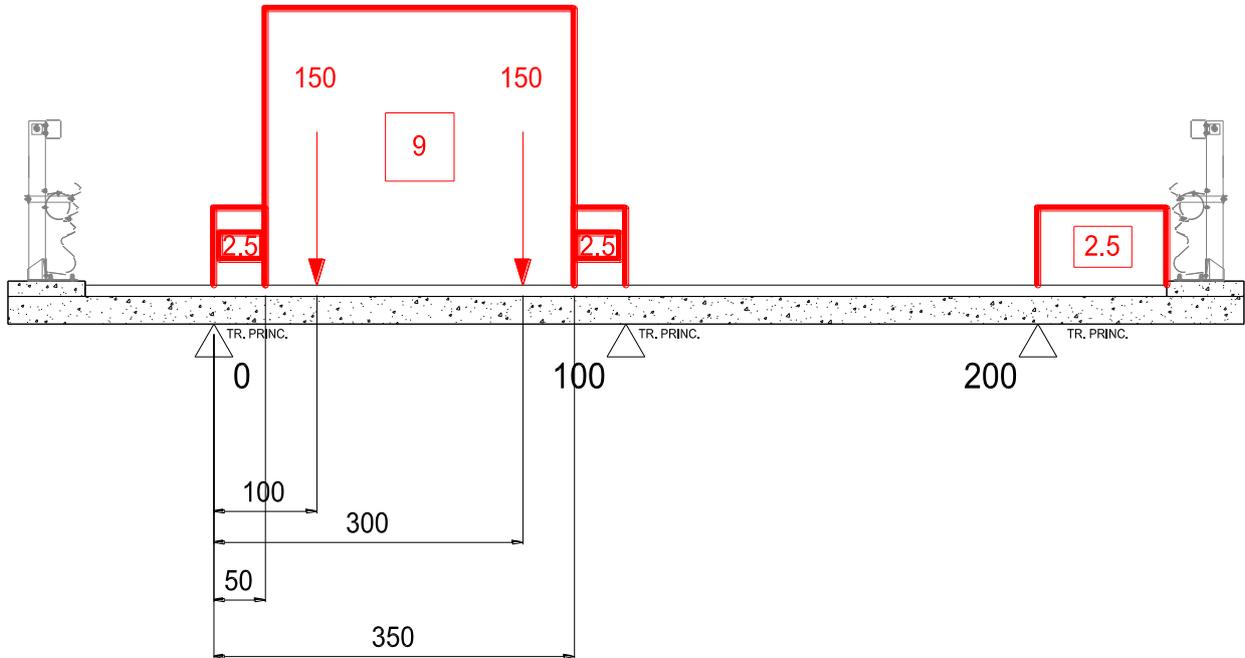


Figura 9-24. Massimo momento positivo in campata - Schema di carico 1

PROGETTAZIONE ATI:

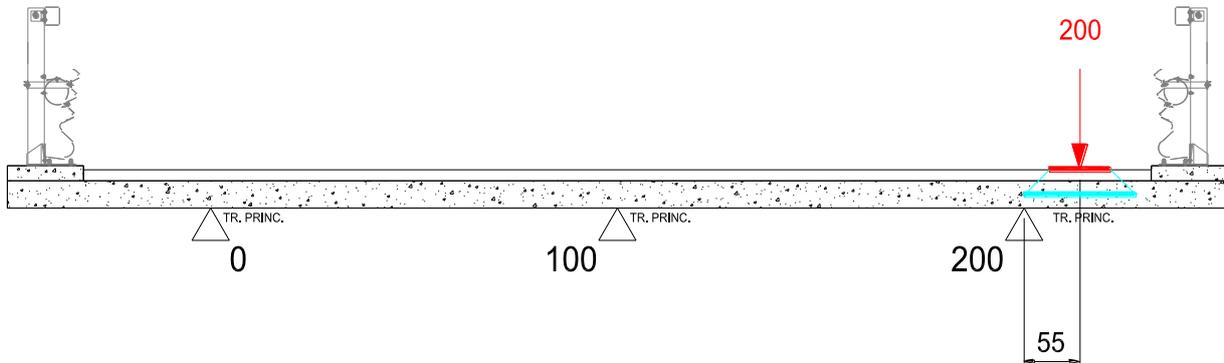


Figura 9-25. Massimo taglio su trave esterna - Schema di carico 2

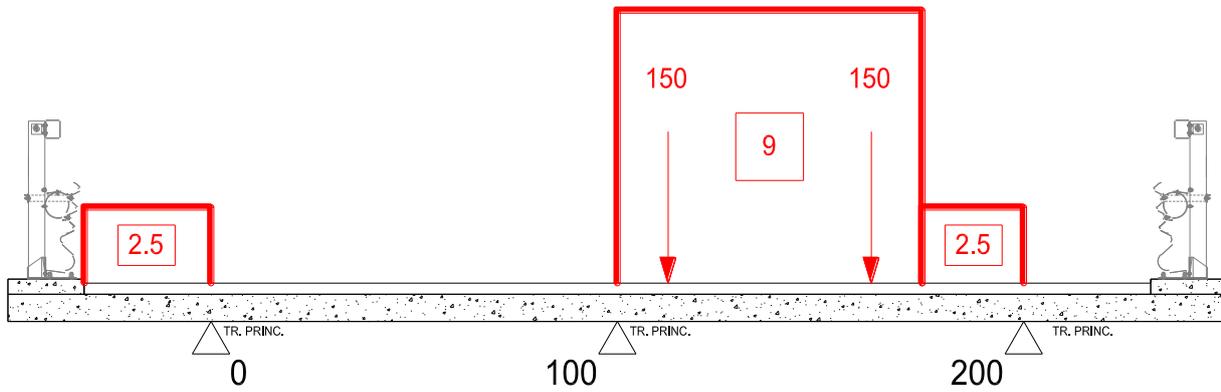


Figura 9-26. Massimo taglio su trave interna - Schema di carico 1

## 9.4.2. LARGHEZZE COLLABORANTI

Il calcolo delle larghezze collaboranti è di fondamentale importanza per conoscere quanta sezione resistente di soletta è interessata dalla diffusione del carico applicato (esclusivamente per il carico tandem), per poter eseguire successivamente le verifiche di resistenza. La diffusione del carico avviene inizialmente in direzione verticale, l'impronta di carico sulla superficie della pavimentazione infatti si trasmette con una diffusione dell'impronta a 45° fino all'asse di mezzeria della soletta. Successivamente in direzione orizzontale fino alle travi principali. La larghezza collaborante dipende pertanto dalla posizione del carico rispetto agli assi delle travi principali.

### 9.4.2.1. Calcolo diffusione verticale impronta

Per le verifiche locali della soletta, secondo le indicazioni di cui al paragrafo § 5.1.3.3.6 delle NTC 2018 le azioni concentrate dovute ai carichi mobili si diffondono con un angolo di 45° dal manto di usura fino al piano medio della struttura della soletta stessa, così come riportato nella figura seguente.

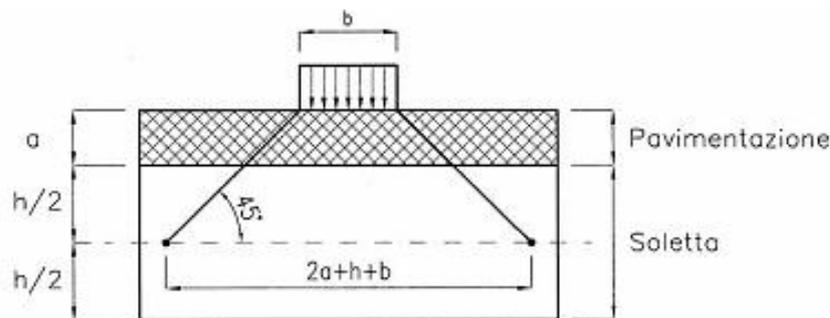


Figura 9-27: Diffusione dei carichi concentrati

In aggiunta, [Rif. *Costruzioni di Ponti, Petrangeli*], la larghezza collaborante della soletta  $L_c$  su cui va ad incidere la diffusione del carico concentrato andrebbe estesa nelle zone di campata secondo la formula:

$$L_c = 2 \cdot a + b + h + \frac{L}{2}$$

dove  $L$  rappresenta la luce della soletta in campata (tra due travi adiacenti), mentre nelle zone di sbalzo:

$$L_c = 2 \cdot a + b + h + 2 \cdot x$$

dove  $x$  è la distanza tra il carico e l'asse della trave.

Di conseguenza, risultando  $L_c$  funzione dell'impronta del carico mobile, per il caso in esame si avranno due larghezze collaboranti di riferimento, uno per lo schema di carico 1 e uno per lo schema di carico mobile 2.

### Schema di carico 1

$L_r$  = larghezza ruota = 40 cm

$s_1$  = spessore del manto di usura = 11 cm

$s_2$  = spessore del getto di cls (campata)= 27 cm

Sezione corrente:

$$D_{SO\text{L}C} = L_r + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot \frac{s_2}{2} = 40 + 2 \cdot 11 + 2 \cdot \frac{27}{2} = 89 \text{ cm}$$

### Schema di carico 2

$L_r$  = larghezza ruota = 35 cm

$s_1$  = spessore del manto di usura = 11 cm

$s_2$  = spessore medio del getto di cls = 27 cm

Sezione corrente:

$$D_{SO\text{L}C} = L_r + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot \frac{s_2}{2} = 35 + 2 \cdot 11 + 2 \cdot \frac{27}{2} = 84 \text{ cm}$$

Nelle verifiche locali relative allo sbalzo, le azioni concentrate da urto e da carico tandem ad esso associato (Schema di Carico 2) saranno distribuiti verticalmente sino alla mezzzeria della soletta ed orizzontalmente sino all'asse della trave esterna dell'impalcato (vincolo d'incastro dello sbalzo soletta) secondo quanto appena descritto nel paragrafo in esame.

### 9.4.2.2. Calcolo larghezza collaborante

La larghezza collaborante per le sezioni di mezzeria, di pila e di giunto su spalla del ponte è calcolata come segue:

**CAMPATA L = 400 cm**  
Schema di carico 1

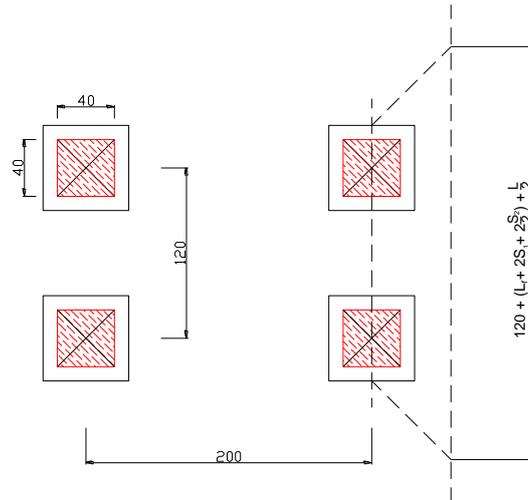
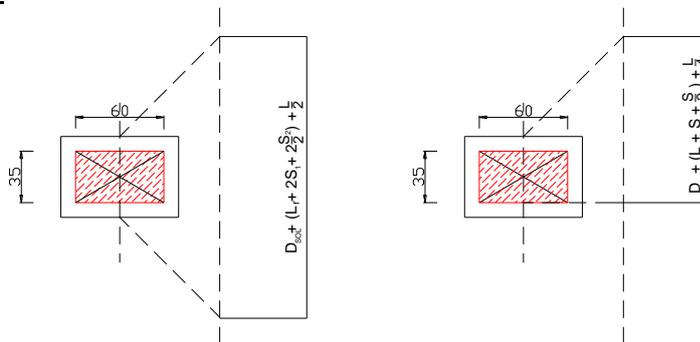


Figura 9-28. Diffusione su sezioni tipiche mezzeria

Interasse assi di carico: 120 cm  
 Diffusione impronta schema 1: 89 cm  
 Interasse travi: 400 cm  
 Larg. coll. sez. corrente:  $120 + 89 + 400 / 2 = 409 \text{ cm}$

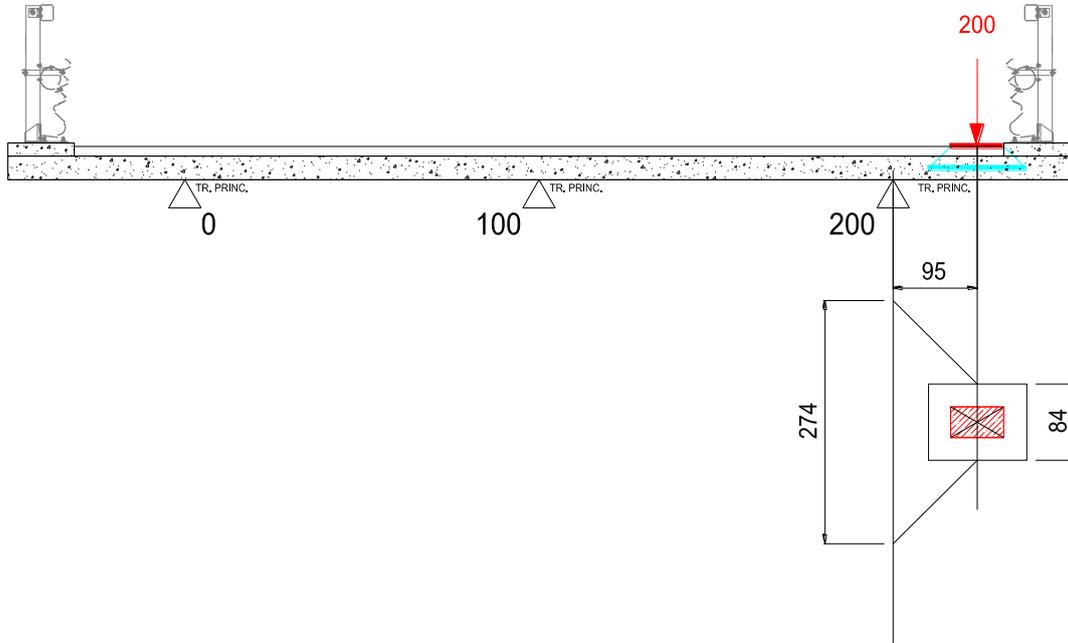
Schema di carico 2



Diffusione impronta schema 2: 84 cm  
 Interasse travi: 400 cm  
 Larg. coll. sez. corrente:  $84 + 400 / 2 = 284 \text{ cm}$

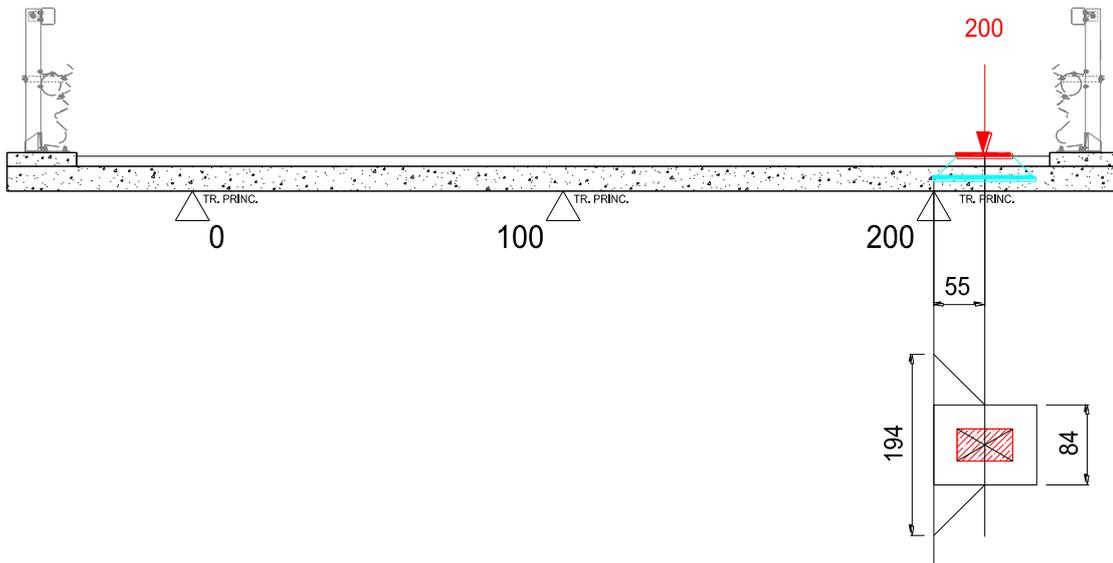
**SBALZO**

Minimo momento negativo



Larg. coll. sez. corrente:  $84 + 95 \cdot 2 = 274 \text{ cm}$

Massimo taglio



Larg. coll. sez. corrente:  $84 + 55 \cdot 2 = 194 \text{ cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

### 9.4.3. EFFETTI DEI CARICHI DA TRAFFICO

Le sollecitazioni seguenti sono riferite alla condizione di carico elementare dei carichi da traffico.

Le sollecitazioni saranno calcolate sia per la sezione corrente che per la sezione in corrispondenza del giunto di spalla, nel qual caso sarà applicato alle sollecitazioni da traffico un coefficiente di amplificazione dinamica.

#### 9.4.3.1. Coefficiente di amplificazione dinamica sezione di giunto spalla

Secondo quanto previsto dalla attuale circolare applicativa alle NTC al paragrafo C.5.1.4.3 l'azione dinamica dei carichi verticali da traffico deve essere amplificata di un fattore  $\emptyset$  in prossimità dei giunti di espansione in funzione della distanza da esso con la seguente formulazione:

$$\Delta\varphi_{\text{fat}} = 1,30 \cdot \left(1 - \frac{d}{26}\right) \geq 1,0 \quad (\text{C5.1.1})$$

dove d è la distanza in m della sezione considerata dalla sezione di giunto, espressa in m.

dove per d=0 il coefficiente assume il suo valore massimo di 1.3, tutti i carichi da traffico saranno amplificati del fattore

$$\emptyset = 1.30.$$

#### 9.4.4. MOMENTO MINIMO SU TRAVE ESTERNA

Il momento minimo su trave è valutato mediante lo schema di carico 2 nella seguente configurazione.

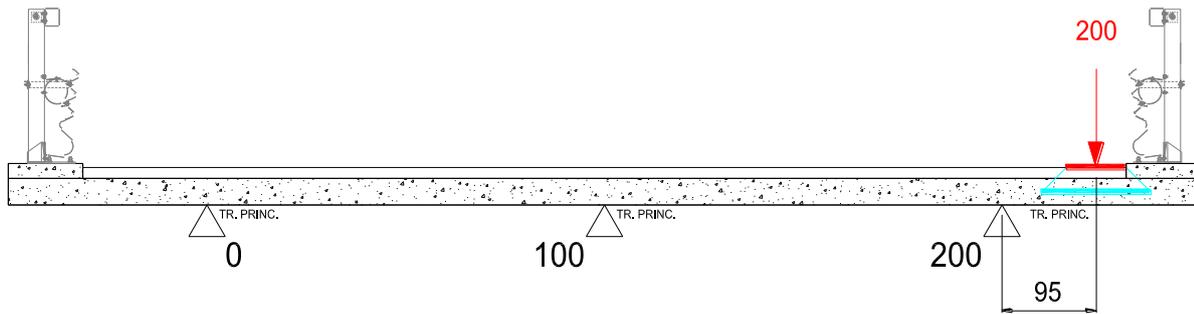


Figura 9-29. Minimo momento negativo su trave esterna - Schema di carico 2

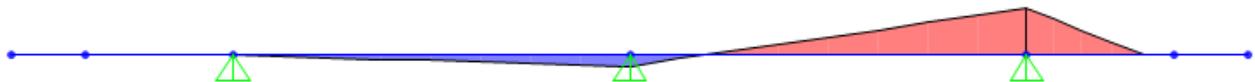


Figura 9-30. Andamento del momento flettente da carichi concentrati

#### SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati	$M_c = - 190 \text{ kNm}$
Larghezza collaborante	$L_{coll} = 2.74 \text{ m}$
Momento su striscia di 1m	$M_c = - 69.34 \text{ kNm/m}$
Momento risultante su striscia di 1m	$M^r = - 69.34 \text{ kNm/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

#### 9.4.5. MOMENTO MINIMO SU TRAVE INTERNA

Il momento minimo nella sezione di appoggio è valutato sia mediante lo schema di carico 2 nella seguente configurazione che mediante lo schema di carico 1 riportato a seguire.

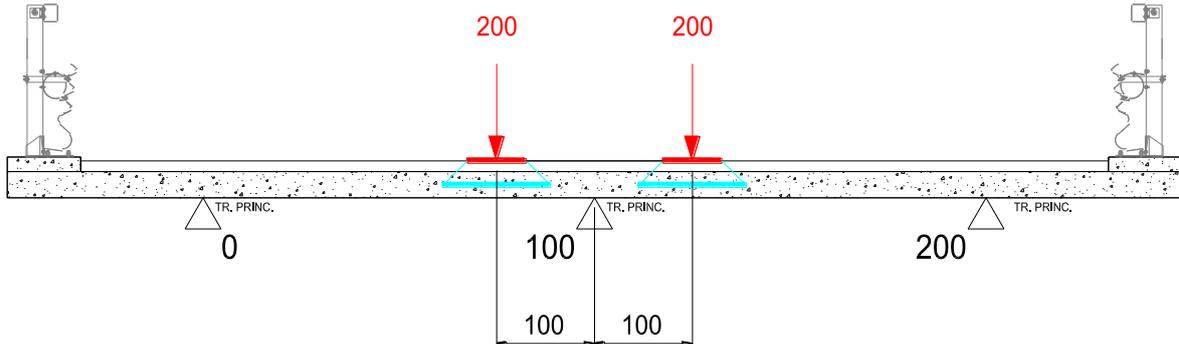


Figura 9-31. Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 2

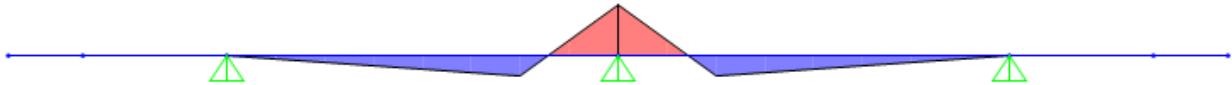


Figura 9-32. Andamento del momento flettente da carichi concentrati

#### SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati	$M_c = - 129.11 \text{ kNm}$
Larghezza collaborante	$L_{coll} = 2.84 \text{ m}$
Momento su striscia di 1m	$M_c = - 45.46 \text{ kNm/m}$
Momento risultante su striscia di 1m	$M^* = - 45.46 \text{ kNm/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

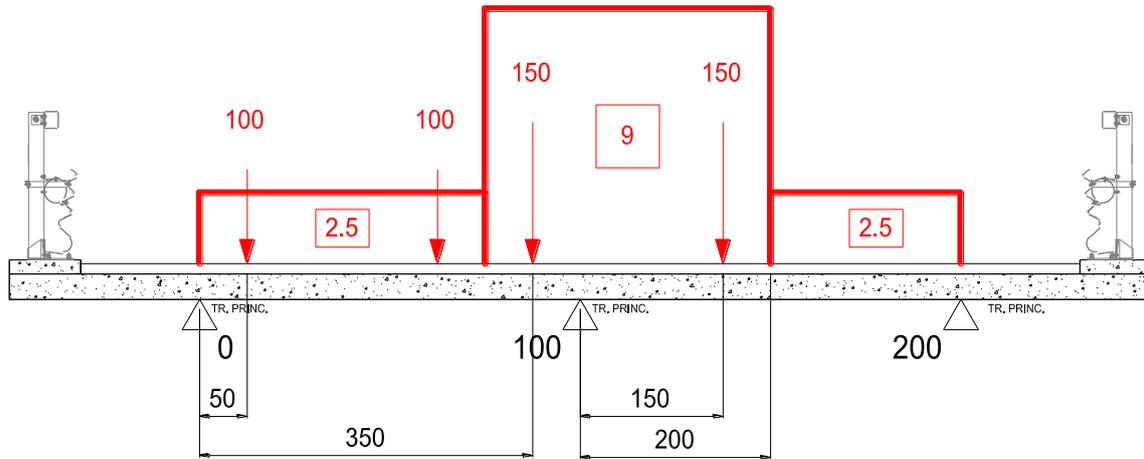


Figura 9-33. Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 1

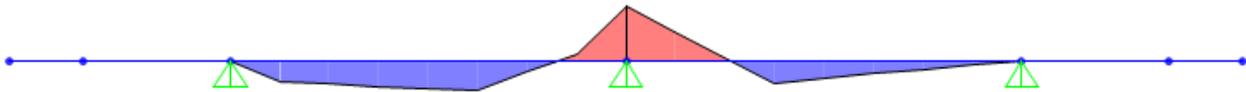


Figura 9-34. Andamento del momento flettente da carichi concentrati

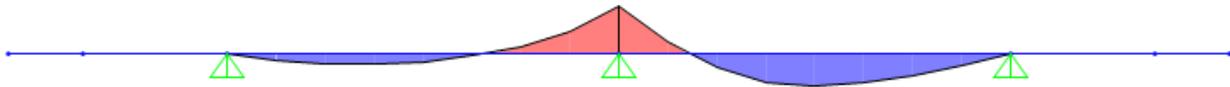


Figura 9-35. Andamento del momento flettente da carichi distribuiti

## SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati

$$M_c = - 272.06 \text{ kNm}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 4.09 \text{ m}$$

Momento su striscia di 1m

$$M_c = - 66.52 \text{ kNm/m}$$

Momento da carichi distribuiti

$$M_c = - 9.74 \text{ kNm}$$

Momento risultante su striscia di 1m

$$M^* = - 76.26 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

### 9.4.6. MOMENTO MASSIMO IN CAMPATA

Il momento massimo nella sezione di campata è valutato mediante lo schema di carico 1 nella seguente configurazione:

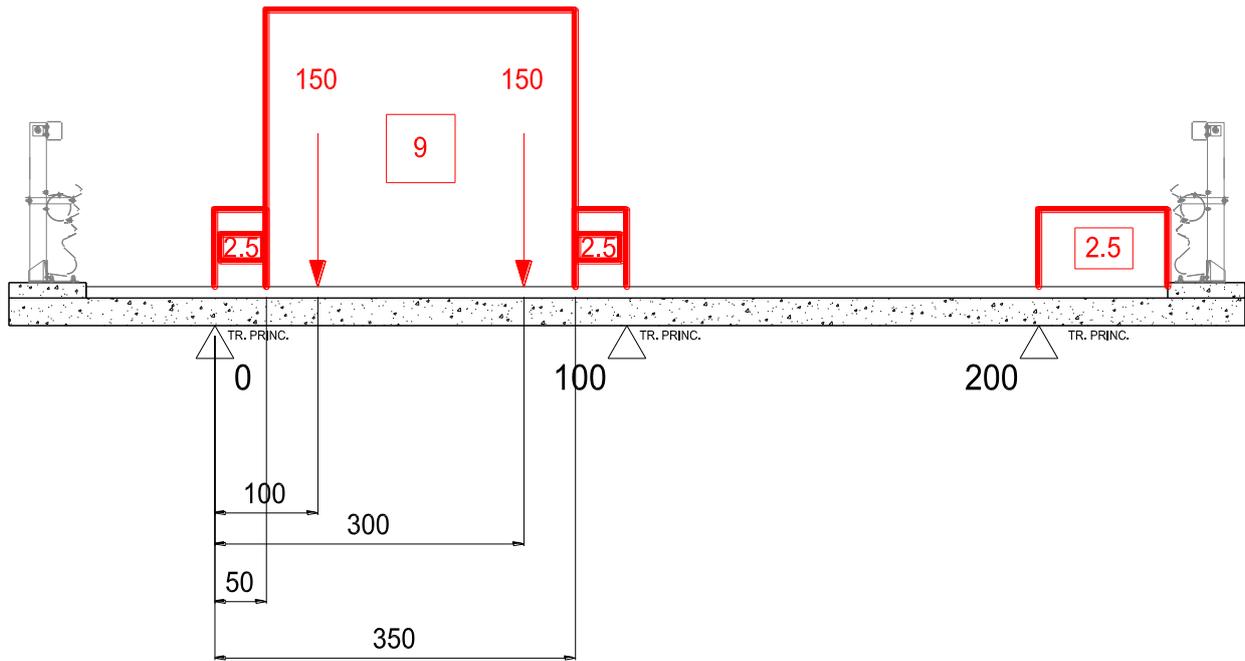


Figura 9-36. Massimo momento positivo in campata - Schema di carico 1

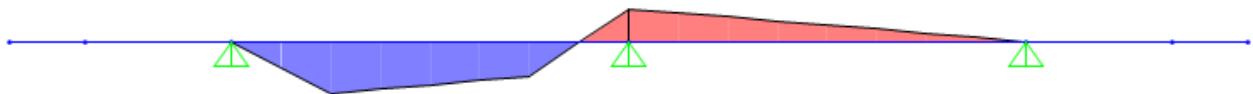


Figura 9-37. Andamento del momento flettente da carichi concentrati

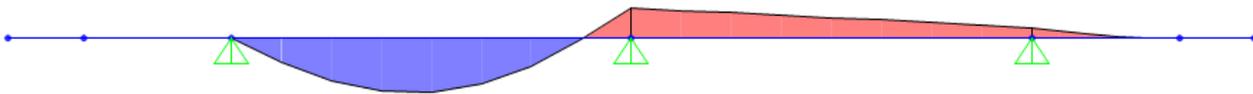


Figura 9-38. Andamento del momento flettente da carichi distribuiti

PROGETTAZIONE ATI:

## SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati

$$M_c = 258.50 \text{ kNm}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 4.09 \text{ m}$$

Momento su striscia di 1m

$$M_c = 63.20 \text{ kNm/m}$$

Momento da carichi distribuiti

$$M_d = 13.27 \text{ kNm}$$

Momento risultante su striscia di 1m

$$\mathbf{M^* = 76.47 \text{ kNm/m}}$$

PROGETTAZIONE ATI:

### 9.4.7. TAGLIO MASSIMO SU TRAVE ESTERNA

Il taglio massimo sulla trave esterna è dato dallo schema di carico 2 nella seguente configurazione:

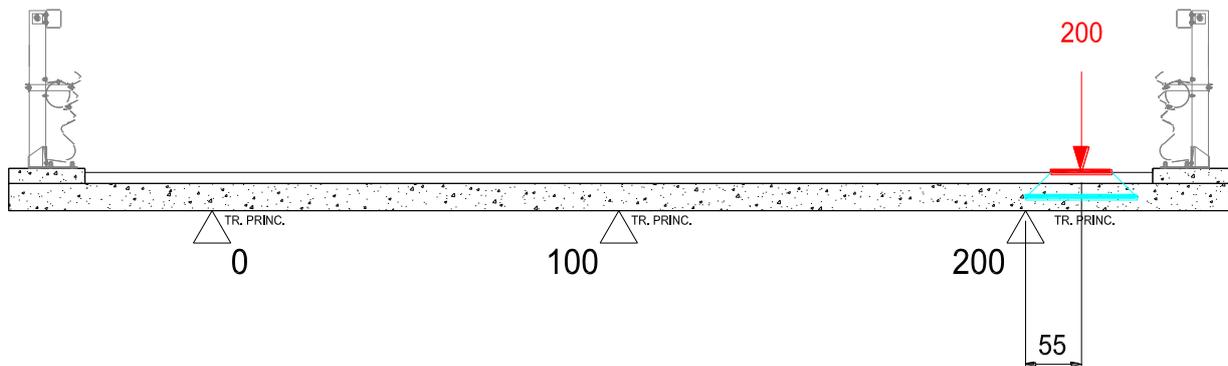


Figura 9-39. Massimo taglio su trave esterna - Schema di carico 2

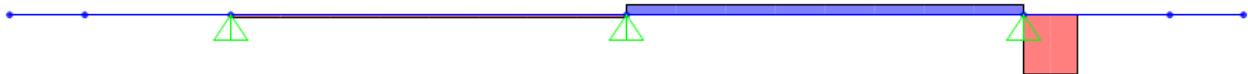


Figura 9-40. Andamento del momento da carichi concentrati

### SEZIONE CORRENTE

Taglio da carichi concentrati

$$V_c = 200 \text{ kN}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 1.94 \text{ m}$$

Taglio su striscia di 1 m

$$V = 103.09 \text{ kN/m}$$

Taglio risultante su striscia di 1 m

$$V = 103.09 \text{ kN/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

### 9.4.8. TAGLIO MASSIMO SU TRAVE INTERNA

Il taglio massimo sulla trave interna è dato dallo schema di carico 1 nella seguente configurazione.

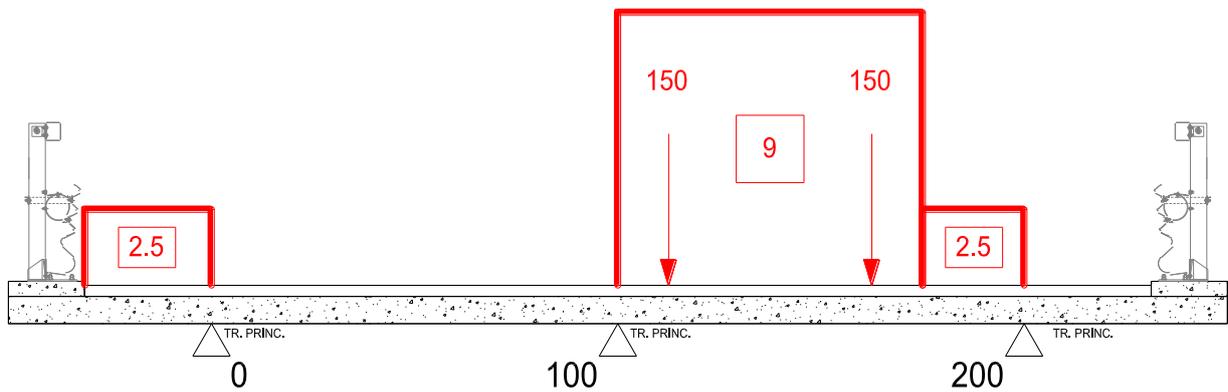


Figura 9-41. Massimo taglio su trave interna - Schema di carico 1

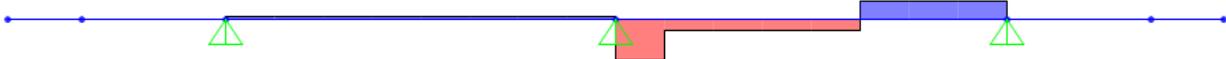


Figura 9-42. Andamento del taglio da carichi concentrati

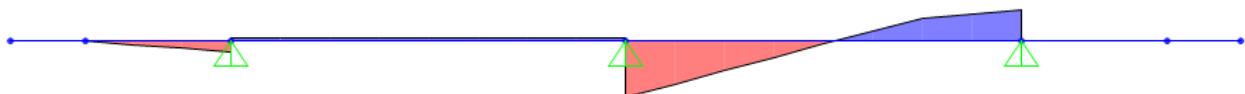


Figura 9-43. Andamento del taglio da carichi distribuiti

### SEZIONE CORRENTE

Taglio da carichi concentrati

$$V_c = 413.90 \text{ kN}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 4.09 \text{ m}$$

Taglio su striscia di 1m

$$V = 101.20 \text{ kN/m}$$

Taglio da carichi distribuiti

$$V_d = 19.09 \text{ kN}$$

Taglio risultante su striscia di 1m

$$M = 120.29 \text{ kN/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

## 9.5. RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito si riportano le sollecitazioni nelle condizioni di carico elementari.

### Fase II

Momento flettente minimo su trave esterna	-20.7 kNm/m
Momento flettente massimo in campata	3.9 kNm/m

Taglio verticale lato sbalzo	15.4 kN/m
Taglio verticale lato campata	12.2 kN/m

### Fase III

#### Mobili

*Momento massimo in campata*

Sezione corrente	76.5 kNm/m
------------------	------------

*Momento minimo su trave*

Sezione corrente	-76.3 kNm/m
------------------	-------------

*Taglio massimo su appoggio*

Sezione corrente	120.3 kN/m
------------------	------------

## 9.6. COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche delle sezioni si adottano le sollecitazioni previste dalle combinazioni di normativa qui di seguito riportate.

SLU                      Fasell \* 1.5 + Acc. Traff. \*1.35

## 9.7. AZIONI DI VERIFICA

Momento flettente minimo su trave		
Sezione corrente		
SLU	-134.0	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
Sezione corrente		
SLU	109.1	kNm/m

Taglio massimo su trave esterna		
Sezione corrente		
SLU	185.5	kNm/m

## 9.8. VERIFICHE DELLA SOLETTA NELLE SEZIONI CORRENTI

### 9.8.1. VERIFICHE ALLO SLU

#### 9.8.1.1. Sezioni di campata – verifica a momento flettente positivo

Momento flettente di verifica:  $M_{ed} = 109.1 \text{ kNm/m}$

Armatura di verifica: superiore:  $\varnothing 20/20$   
inferiore:  $\varnothing 20/20$

Momento resistente  $M_{Rd} = 119.3 \text{ kNm/m} > M_{ed}$ , verifica soddisfatta

Verifica C.A. S.L.U. - File: vca test

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	27	1	15.71	5
			2	15.71	21

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls Coord.[cm]  
xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C32/40

ε<sub>su</sub> 67.5 % ε<sub>c2</sub> 2 %  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 %  
E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
ε<sub>syd</sub> 1.957 % σ<sub>c,adm</sub> 12.25  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
τ<sub>c1</sub> 2.114

M<sub>xRd</sub> 119.3 kN m  
σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 %  
ε<sub>s</sub> 12.18 %  
d 21 cm  
x 4.687 x/d 0.2232  
δ 0.719

**9.8.1.2. Sezione di appoggio – verifica a momento flettente negativo**

Momento flettente di verifica:  $M_{ed} = -134.0$  kNm/m

Armatura di verifica: superiore:  $\varnothing 20/20 + \varnothing 16/20$   
inferiore:  $\varnothing 20/20$

Momento resistente  $M_{Rd} = -192.6$  kNm/m  $< M_{ed}$ , verifica soddisfatta

Verifica C.A. S.L.U. - File: vca test

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	27	1	25.76	5
			2	15.71	21

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12.25  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
 τ<sub>c1</sub> 2.114

M<sub>xRd</sub> -192.6 kN m  
 σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 8.533 ‰  
 d 22 cm  
 x 6.399 x/d 0.2909  
 δ 0.8036

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello  
 Precompresso

### 9.8.1.3. Sezione di appoggio – verifica a taglio

La verifica al taglio nelle sezioni tipiche è svolta considerando come armatura resistente quella del traliccio saldato alla predalles metallica e considerando la resistenza del materiale quella residua calcolata in fase I.

#### VERIFICA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto

$$V_{ed} = 185.5 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 0 \text{ kN}$$

Sezione rettangolare (o a T)

$$H = 27 \text{ cm} \quad d = 22 \text{ cm} \quad \text{Altezza utile}$$

$$b_w = 100 \text{ cm}$$

Proprietà cls

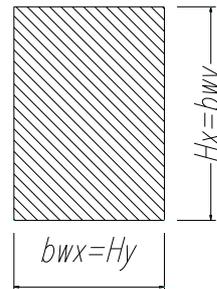
$$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_c = 1.5$$

$$f_{ctk} = 2.21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Resistenza caratteristica a trazione}$$

$$f_{ctd} = 1.47 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Resistenza di calcolo a trazione}$$

$$f_{cd} = 18.81 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Resistenza di calcolo a compressione}$$

Sezione rettangolare



Armatura Tesa Longitudinale

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_a = 1.15$$

$$f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$$

#### Strato Compresso

Diam (mm)	20	Passo (cm)	20	Strati	1	$A_{sl,sup} = 25.8 \text{ cm}^2$
Diam (mm)	16	Passo (cm)	20	Strati	1	
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	

#### Strato Teso

Diam (mm)	20	Passo (cm)	20	Strati	1	$A_{sl,inf} = 25.8 \text{ cm}^2$
Diam (mm)	16	Passo (cm)	20	Strati	1	
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	

$$c_x = 5 \text{ copriferro (distanza baricentro-bordo cls)}$$

$$r_1 = 0.00954 < 0.02$$

Armatura Staffe (angolo 90°)

$$f_{ywk} = 450 \text{ N/mm}^2 \quad g_a = 1.15$$

$$f_{ywd} = 300 \text{ N/mm}^2 \quad a = 53 \text{ (angolo inclinazione staffe)}$$

$$A_{sl,x} = 3.93 \text{ cm}^2 \quad \text{Diam (mm)} \quad 10 \quad \text{Passo (cm)} \quad 20 \quad \text{Braccia} \quad 5$$

PROGETTAZIONE ATI:

## 2) IN PRESENZA DI ARMATURA A TAGLIO

Resistenza a taglio in presenza di specifica armatura a taglio

$$\begin{aligned} a_c &= 1 && \text{(cautelativamente si trascura la presenza di compressione)} \\ f_{cd} &= 9.41 && \text{N/mm}^2 \\ q &= 21 && ^\circ \text{ (inclinazione bielle cls)} \\ a &= 45 && ^\circ \text{ (inclinazione armature trasv. rispetto all'asse trave)} \end{aligned}$$

*Verifica conglomerato*

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

$$V_{Rcd} = 899 \text{ kN} \quad \text{vs} \quad V_{sdu,x} = 185.5 \text{ kN}$$

Verificato

*Verifica armatura trasversale*

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rsd} = 289 \text{ kN} \quad \text{vs} \quad V_{sdu,x} = 185.5 \text{ kN}$$

Verificato

### 9.8.2. VERIFICHE ALLO SLE

Mediante il foglio excel di combinazione si ricavano anche le sollecitazioni allo SLE\_frequente e allo SLE\_quasi permanente.

Momento flettente minimo su trave		
Sezione corrente		
SLE_frequente	-77.9	kNm/m

Momento flettente minimo su trave		
Sezione corrente		
SLE_quasi perm.	-20.7	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
Sezione corrente		
SLE_frequente	61.3	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
Sezione corrente		
SLE_quasi perm.	3.9	kNm/m

Taglio massimo su trave esterna		
Sezione corrente		
SLE_frequente	105.6	kNm/m

Taglio massimo su trave esterna		
Sezione corrente		
SLE_quasi perm.	15.4	kNm/m

Si procede pertanto alla verifica a fessurazione e a quella delle tensioni di esercizio.

#### 9.8.2.1. Verifiche a fessurazione

In accordo con il par. 4.1.2.2.4.5 del DM 17/01/18 nel caso di struttura in cls ordinario si rispettano le limitazioni di tab. 4.1.IV. Si verificano unicamente le combinazioni di carico delle sezioni correnti.

La soletta di impalcato si trova nelle seguenti condizioni:

Classe di esposizione      XC4  
Condizioni ambientali      Aggressive.  
Armatura                      Poco sensibile

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	<b>XC4</b> , XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w <sub>d</sub>	Stato limite	w <sub>d</sub>
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>3</sub>
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>

Essendo, in accordo con il par. 4.1.2.2.4:

Combinazione frequente:      w<sub>2</sub> = 0.3 mm

Combinazione quasi permanente:      w<sub>1</sub> = 0.2 mm

**Sezione in campata**

Verifica C.A. S.L.U. - File: sle\_freq\_M+

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	15.71	21

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

Materiali  
 B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  18.13  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

$\sigma_c$  -7.676 N/mm²  
 $\sigma_s$  215.3 N/mm²  
 $\epsilon_s$  1.076 ‰  
 d 21 cm  
 x 7.318 x/d 0.3485  
 $\delta$  0.8756

Verifica C.A. S.L.U. - File: sle\_quasi perm\_M+

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	15.71	21

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

Materiali  
 B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  18.13  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

$\sigma_c$  -0.4884 N/mm²  
 $\sigma_s$  13.7 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0.06848 ‰  
 d 21 cm  
 x 7.318 x/d 0.3485  
 $\delta$  0.8756

$\sigma_s$ , frequente = 215.30 MPa

$\sigma_s$ , quasi permanente = 13.70 MPa

PROGETTAZIONE ATI:

**SLE\_frequente**

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure**

Tensione nelle barre		$\sigma_{s,MAX} =$	<input type="text" value="215.3"/>	[N/mm <sup>2</sup> ]
		$\sigma_{s,MIN} =$	<input type="text" value="0.0"/>	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente tipo di carico	<input type="text" value="lunga durata"/>	$k_t =$	<input type="text" value="0.4"/>	
Resistenza a trazione media cls		$f_{ctm} =$	3.1	[N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di Young acciaio		$E_s =$	<input type="text" value="210000.0"/>	[N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di Young cls		$E_{cm} =$	33643	[N/mm <sup>2</sup> ]
		$\alpha_e = E_s / E_{cm} =$	6.24	
Copriferro		$c =$	<input type="text" value="40.0"/>	[mm]
Diametro barre		$\Phi =$	<input type="text" value="16.0"/>	[mm]
Larghezza sezione		$B =$	<input type="text" value="1000.0"/>	[mm]
		$A_{c,eff} =$	96000	[mm <sup>2</sup> ]
Numero barre		$n_b =$	<input type="text" value="5"/>	
Area armature		$A_s =$	1005.3	[mm <sup>2</sup> ]
Rapporto di armatura		$\rho_{eff} =$	0.010	
Deformazione media barre		$\epsilon_{sm} =$	0.00062	
Tipologia barre	<input type="text" value="barre ad aderenza migliorata"/>	$k_1 =$	0.80	
Tipologia sollecitazione	<input type="text" value="flessione"/>	$k_2 =$	0.50	
		$k_3 =$	3.40	
		$k_4 =$	0.425	
Distanza massima fra le fessure		$\Delta_{s,max} =$	395.7	[mm]
Ampiezza di calcolo delle fessure		$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} =$	0.24	[mm]
Ampiezza limite fessure		<input type="text" value="w2"/>	<input type="text" value="0.30"/>	[mm]
Verifica		<b>w2 &gt; w<sub>d</sub></b>		<b>ok!</b>

**SLE\_quasi permanente**

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure**

Tensione nelle barre

$\sigma_{s,MAX} = 13.7$  [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_{s,MIN} = 0.0$  [N/mm<sup>2</sup>]

Coefficiente tipo di carico

lunga durata

$k_t = 0.4$

Resistenza a trazione media cls

$f_{ctm} = 3.1$  [N/mm<sup>2</sup>]

Modulo di Young acciaio

$E_s = 210000.0$  [N/mm<sup>2</sup>]

Modulo di Young cls

$E_{cm} = 33643$  [N/mm<sup>2</sup>]

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$

Copriferro

$c = 40.0$  [mm]

Diametro barre

$\Phi = 16.0$  [mm]

Larghezza sezione

$B = 1000.0$  [mm]

$A_{c,eff} = 96000$  [mm<sup>2</sup>]

Numero barre

$n_b = 5$

Area armature

$A_s = 1005.3$  [mm<sup>2</sup>]

Rapporto di armatura

$\rho_{eff} = 0.010$

Deformazione media barre

$\epsilon_{sm} = 0.00004$

Tipologia barre

barre ad aderenza migliorata

$k_1 = 0.80$

Tipologia sollecitazione

flessione

$k_2 = 0.50$

$k_3 = 3.40$

$k_4 = 0.425$

Distanza massima fra le fessure

$\Delta_{s,max} = 395.7$  [mm]

Ampiezza di calcolo delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} = 0.02$  [mm]

Ampiezza limite fessure

$w_1 = 0.20$  [mm]

Verifica

$w_1 > w_d$  **ok!**

**Sezione di appoggio**

Verifica C.A. S.L.U. - File: sle\_freq\_M-

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.76	5
2	15.71	21

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 -77.9 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali  
 B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  18.13  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

$\sigma_c$  -7.795 N/mm²  
 $\sigma_s$  163.5 N/mm²

$\epsilon_s$  0.8174 ‰  
 d 22 cm  
 x 9.174 x/d 0.417  
 $\delta$  0.9612

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: sle\_quasi perm\_M-

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.76	5
2	15.71	21

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 -20.7 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali  
 B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  18.13  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

$\sigma_c$  -2.071 N/mm²  
 $\sigma_s$  43.44 N/mm²

$\epsilon_s$  0.2172 ‰  
 d 22 cm  
 x 9.174 x/d 0.417  
 $\delta$  0.9612

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

$\sigma_s$ , frequente = 163.50 MPa

$\sigma_s$ , quasi permanente = 43.44 MPa

PROGETTAZIONE ATI:

**SLE\_frequente**

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure**

Tensione nelle barre

$\sigma_{s,MAX} = 163.5$  [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_{s,MIN} = 0.0$  [N/mm<sup>2</sup>]

Coefficiente tipo di carico

lunga durata

$k_t = 0.4$

Resistenza a trazione media cls

$f_{ctm} = 3.1$  [N/mm<sup>2</sup>]

Modulo di Young acciaio

$E_s = 210000.0$  [N/mm<sup>2</sup>]

Modulo di Young cls

$E_{cm} = 33643$  [N/mm<sup>2</sup>]

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$

Copriferro

$c = 40.0$  [mm]

Diametro barre

$\Phi = 20.0$  [mm]

Larghezza sezione

$B = 1000.0$  [mm]

$A_{c,eff} = 100000$  [mm<sup>2</sup>]

Numero barre

$n_b = 10$

Area armature

$A_s = 3141.6$  [mm<sup>2</sup>]

Rapporto di armatura

$\rho_{eff} = 0.031$

Deformazione media barre

$\epsilon_{sm} = 0.00055$

Tipologia barre

barre ad aderenza migliorata

$k_1 = 0.80$

Tipologia sollecitazione

flessione

$k_2 = 0.50$

$k_3 = 3.40$

$k_4 = 0.425$

Distanza massima fra le fessure

$\Delta_{s,max} = 244.2$  [mm]

Ampiezza di calcolo delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} = 0.14$  [mm]

Ampiezza limite fessure

$w_2 = 0.30$  [mm]

Verifica

$w_2 > w_d$  ok!

**SLE\_quasi permanente**

**Calcolo dell'ampiezza delle fessure**

Tensione nelle barre

$\sigma_{s,MAX} = 43.4$  [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_{s,MIN} = 0.0$  [N/mm<sup>2</sup>]

Coefficiente tipo di carico

lunga durata

$k_t = 0.4$

Resistenza a trazione media cls

$f_{ctm} = 3.1$  [N/mm<sup>2</sup>]

Modulo di Young acciaio

$E_s = 210000.0$  [N/mm<sup>2</sup>]

Modulo di Young cls

$E_{cm} = 33643$  [N/mm<sup>2</sup>]

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$

Copriferro

$c = 40.0$  [mm]

Diametro barre

$\Phi = 20.0$  [mm]

Larghezza sezione

$B = 1000.0$  [mm]

$A_{c,eff} = 100000$  [mm<sup>2</sup>]

Numero barre

$n_b = 10$

Area armature

$A_s = 3141.6$  [mm<sup>2</sup>]

Rapporto di armatura

$\rho_{eff} = 0.031$

Deformazione media barre

$\epsilon_{sm} = 0.00012$

Tipologia barre

barre ad aderenza migliorata

$k_1 = 0.80$

Tipologia sollecitazione

flessione

$k_2 = 0.50$

$k_3 = 3.40$

$k_4 = 0.425$

Distanza massima fra le fessure

$\Delta_{s,max} = 244.2$  [mm]

Ampiezza di calcolo delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} = 0.03$  [mm]

Ampiezza limite fessure

$w_1 = 0.20$  [mm]

Verifica

$w_1 > w_d$  **ok!**

### 9.8.2.2. Verifiche tensionali allo SLE

#### *Calcestruzzo*

Secondo le NTC08 par.4.1.2.2.5.1 "Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio", la massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)} \quad (4.1.40)$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.} \quad (4.1.41)$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

#### *Acciaio*

Secondo le NTC08 par.4.1.2.2.5.2 "Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio", la tensione massima nell'acciaio ( $\sigma_s$ ), per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica, deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk} \text{ per combinazione caratteristica (rara)} \quad (4.1.42)$$

N.B.: Si verifica unicamente la combinazione di carico rara a favore di sicurezza.

#### **Sezione in campata**

##### *Calcestruzzo:*

Limitazioni Combinazione Quasi Permanente  $\sigma_c = 10.07 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck} = 0.45 * 33.2 = 14.94 \text{ MPa}$

##### *Acciaio*

Limitazioni Combinazione RARA  $\sigma_s = 282.3 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk} = 0.8 * 450 = 360 \text{ MPa}$

#### **Sezione di appoggio**

##### *Calcestruzzo*

Limitazioni Combinazione Quasi Permanente  $\sigma_c = 9.70 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck} = 0.45 * 33.2 = 14.94 \text{ MPa}$

##### *Acciaio*

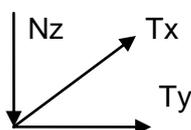
Limitazioni Combinazione RARA  $\sigma_s = 203.4 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk} = 0.8 * 450 = 360 \text{ MPa}$

## 10. APPARECCHI DI APPOGGIO

Si riportano di seguito le reazioni sugli appoggi verticali ed orizzontali sui dispositivi di appoggio nelle condizioni di carico elementari (non ponderate).

### 10.1. CONDIZIONI ELEMENTARI

#### 10.1.1. SPALLA SP1 – SP2



N(z) negativo se verso l'alto

SP1 - SP2		Carichi Verticali	
		A (nodo 075)	B (nodo 275)
		[kN]	[kN]
Pesi propri (Fase1)	(g1)	1250	1250
Pesi propri portati (Fase2)	(g2)	500	500
Ritiro	(e2)	-200	-200
Max Permanenti		1750	1750
Min Permanenti		1550	1550
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. Esterna)*	(q1+q2+q3)	800	1950
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. interna)*	(q1+q2+q3)	1950	800
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stesa (Tr. Esterna)*	(q1)	150	1550
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stese (Tr. Interna)*	(q1)	1550	150
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Esterna)*	(q1+q2)	350	1850
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Interna)*	(q1+q2)	1850	350
Gradiente termico	(q7)	150	150
Effetto cedimenti fondazioni (massimo)	(e5)	50	50
Effetto cedimenti fondazioni (minimo)	(e5)	-50	-50

SP1 - SP2		Carichi Verticali	
		A (nodo 075)	B (nodo 275)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 100	± 100
Sisma Trasversale	(q6)	± 500	± 500
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 350	± 350
Vento Ponte Carico	(q5)	± 600	± 600
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 600	± 600
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	50	50

PROGETTAZIONE ATI:

SP1 - SP2		Carichi Trasversali	
		A (nodo 075)	B (nodo 275)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 0	± 0
Sisma Trasversale	(q6)	± 750	± 750
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 0	± 0
Vento Ponte Carico	(q5)	± 700	± 700
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 700	± 700
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

SP1 - SP2		Carichi Longitudinali	
		A (nodo 075)	B (nodo 275)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 950	± 950
Sisma Trasversale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 50	± 50
Vento Ponte Carico	(q5)	50	50
Vento Ponte Scarico	(q5)	50	50
Attrito appoggi	(q9)	0	0
Frenatura	(q3)	150	150
Termica uniforme	(q7)	300	300

Nota Bene 1 : tutti i carichi sono non ponderati

Nota Bene 2 : Carichi sismici allo SLV. L'analisi sismica è stata condotta ai sensi del D.M. 17/01/18 con l'analisi spettrale del solo impalcato isolato con le seguenti caratteristiche del sistema di isolamento (rigidezza e smorzamento equivalente) :  $k_r=4.40\text{kN/mm}$  (spalla),  $k_r=5.30\text{kN/mm}$  (pila) ;  $\xi_{eq} = 10\%$   
VN 50 anni, Classe d'uso IV, Coordinate geografiche: 12.52 ; 43.66, Categoria di sottosuolo B.

Le reazioni vengono fornite spurie per le tre direzioni, ossia senza combinazioni direzionali

Nota Bene 3: \* Carichi in alternativa

### 10.1.2. PILA P1 – P2

P1 - P2		Carichi Verticali	
		A (nodo 054)	B (nodo 254)
		[kN]	[kN]
Pesi propri (Fase1)	(g1)	6150	6150
Pesi propri portati (Fase2)	(g2)	2250	2250
Ritiro	(e2)	150	150
Max Permanenti		8550	8550
Min Permanenti		8400	8400
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. Esterna)*	(q1+q2+q3)	1800	4250
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. interna)*	(q1+q2+q3)	4250	1800
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stesa (Tr. Esterna)*	(q1)	350	3700
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stese (Tr. Interna)*	(q1)	3700	350
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Esterna)*	(q1+q2)	650	4050
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Interna)*	(q1+q2)	4050	650
Gradiente termico	(q7)	-150	-150
Effetto cedimenti fondazioni (massimo)	(e5)	100	100
Effetto cedimenti fondazioni (minimo)	(e5)	-100	-100

P1 - P2		Carichi Verticali	
		A (nodo 054)	B (nodo 254)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 100	± 100
Sisma Trasversale	(q6)	± 850	± 850
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 900	± 900
Vento Ponte Carico	(q5)	± 2600	± 2600
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 2600	± 2600
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	50	50

P1 - P2		Carichi Trasversali	
		A (nodo 054)	B (nodo 254)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 0	± 0
Sisma Trasversale	(q6)	± 1200	± 1200
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 50	± 50
Vento Ponte Carico	(q5)	± 800	± 800
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 800	± 800
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

P1 - P2		Carichi Longitudinali	
		A (nodo 054)	B (nodo 254)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 1100	± 1100
Sisma Trasversale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 50	± 50
Vento Ponte Carico	(q5)	50	50
Vento Ponte Scarico	(q5)	50	50
Attrito appoggi	(q9)	0	0
Frenatura	(q3)	150	150
Termica uniforme	(q7)	150	150

Nota Bene 1 : tutti i carichi sono non ponderati

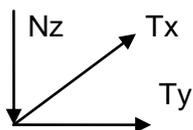
Nota Bene 2 : Carichi sismici allo SLV. L'analisi sismica è stata condotta ai sensi del D.M. 17/01/18 con l'analisi spettrale del solo impalcato isolato con le seguenti caratteristiche del sistema di isolamento (rigidezza e smorzamento equivalente) :  $k_r=4.40\text{kN/mm}$  (spalla),  $k_r=5.30\text{kN/mm}$  (pila) ;  $\xi_{eq} = 10\%$  VN 50 anni, Classe d'uso IV, Coordinate geografiche: 12.52 ; 43.66, Categoria di sottosuolo B.

Le reazioni vengono fornite spurie per le tre direzioni, ossia senza combinazioni direzionali

Nota Bene 3: \* Carichi in alternativa

## 10.2. INVILUPPO

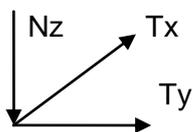
### 10.2.1. SPALLA SPA – SPB



N(z) negativo se verso l'alto

SP 1-SP2						
	Nmax [kN]	TI [kN]	Tt [kN]	Nmin [kN]	TI [kN]	Tt [kN]
SLU	5810	320	630	550	350	1050
	5100	520	630	-	-	-
	5510	350	1050	-	-	-
SLV	2510	500	750	860	500	750
	2230	1130	230	-	-	-
	2510	490	750	-	-	-
SLC	2660	510	1010	720	510	1010
	2310	1280	380	-	-	-
	2660	500	1010	-	-	-

### 10.2.2. PILA P1 – P2



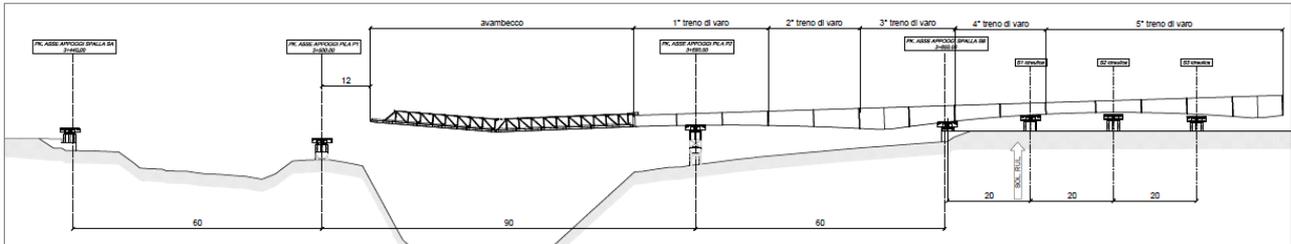
N(z) negativo se verso l'alto

P1-P2						
	Nmax [kN]	TI [kN]	Tt [kN]	Nmin [kN]	TI [kN]	Tt [kN]
SLU	20060	180	720	4660	210	1200
	18470	390	720	-	-	-
	20050	210	1200	-	-	-
SLV	9840	470	1220	7040	470	1220
	9200	1210	380	-	-	-
	9730	460	1220	-	-	-
SLC	10300	520	1510	6580	520	1510
	9380	1430	530	-	-	-
	10050	510	1510	-	-	-

PROGETTAZIONE ATI:

## 11. VERIFICHE IN FASE DI VARO

Si riportano di seguito le verifiche svolte in fase di varo.



Si considera la situazione di massimo sbalzo, cioè quando l'avambecco è in prossimità della pila 1

PROGETTAZIONE ATI:

### 11.1. VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI

I carichi agenti sono:

	$R_0$ (kN/m)	$R_{100}$ (kN/m)
<b>Carpenteria metallica</b>	21.00	21.00
<b>Passerella di ispezione</b>	1.00	1.00
<b>Predalles</b>	9.0	9.0

Per l'avambecco si assume un peso pari a 85 tonnellate.

Si riportano di seguito l'immagine del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

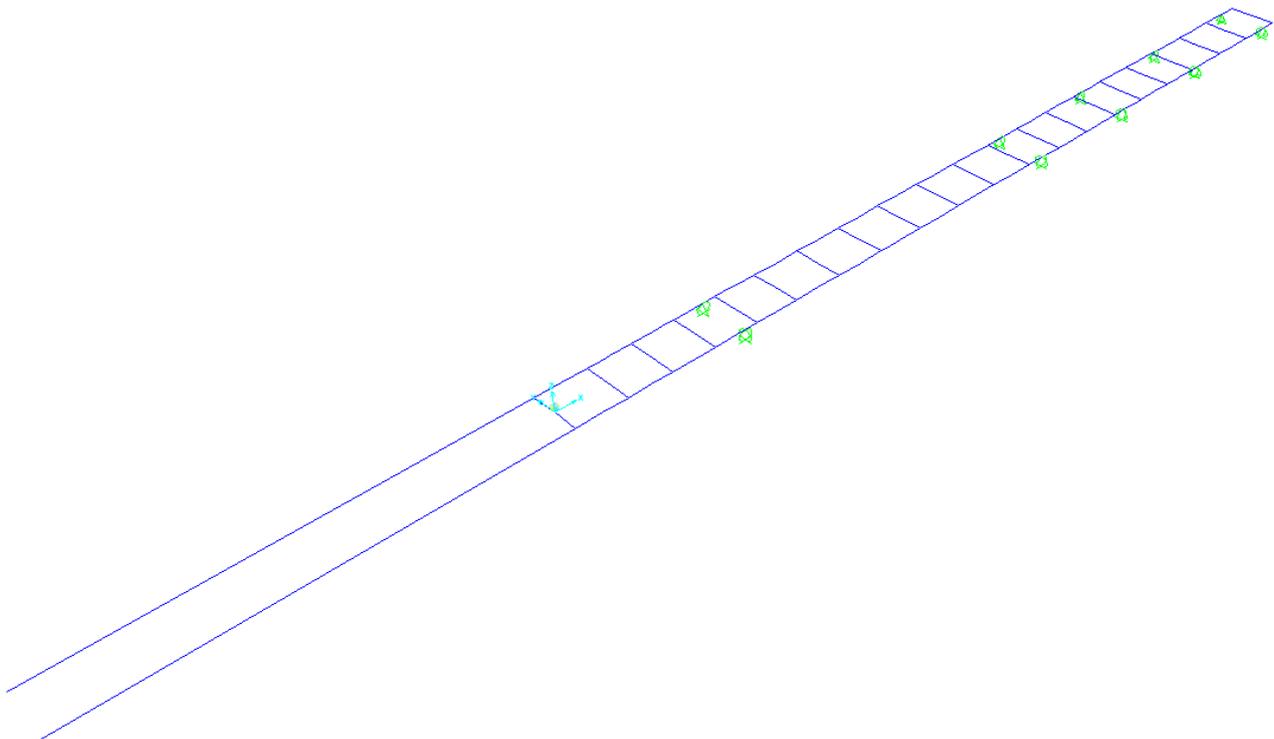


Figura 11.1 Modello di calcolo

PROGETTAZIONE ATI:

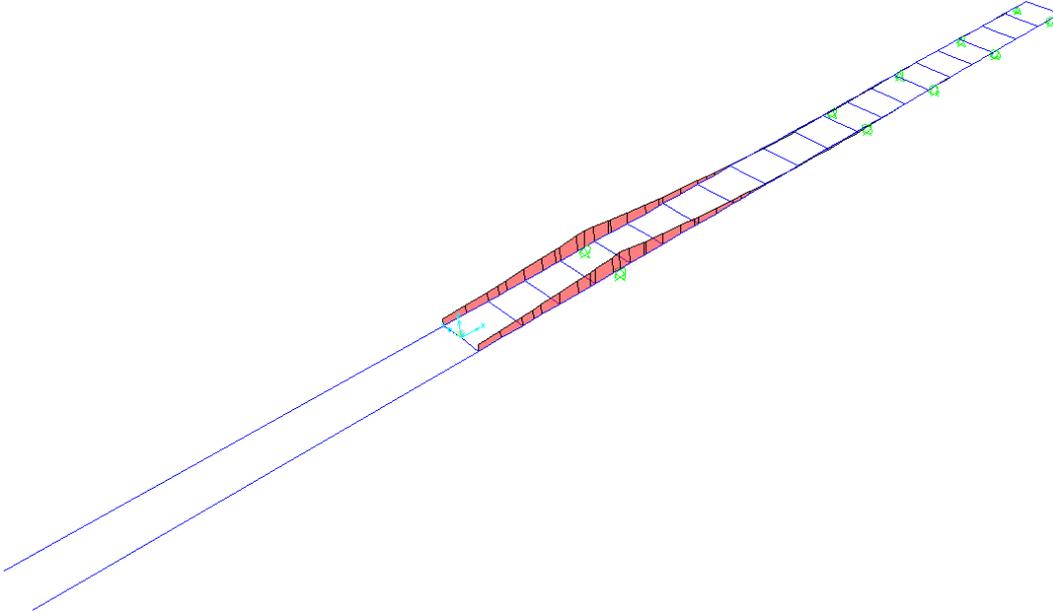


Figura 11.2 Sollecitazioni – Momento

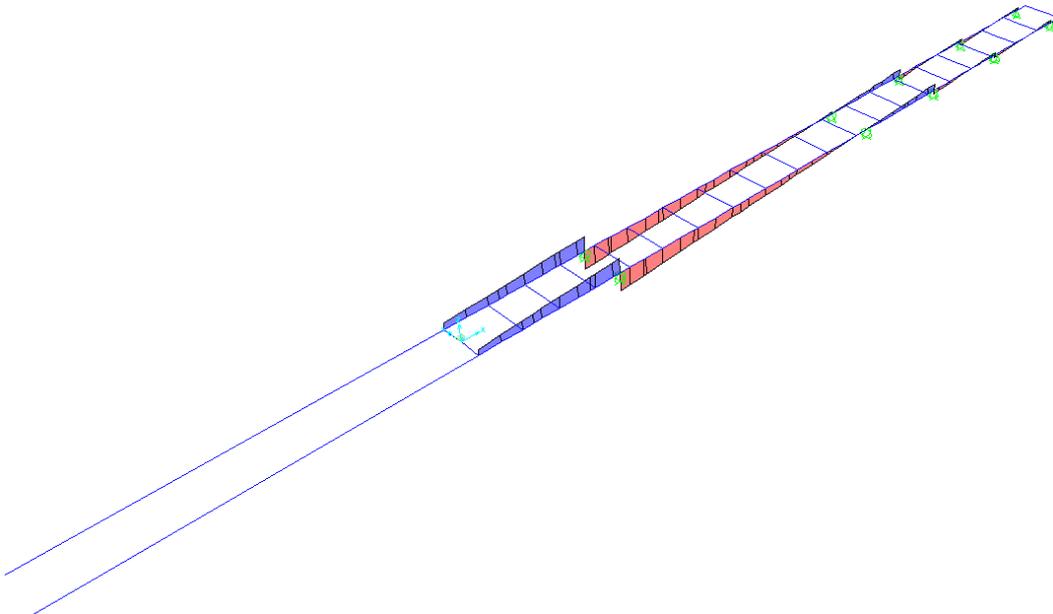


Figura 11.3 Sollecitazioni Taglio

La sezione più sollecitata è quella in corrispondenza dell'appoggio del carrellone.

$$M_{SLU} = 1.35 * (- 34688 \text{ kNm}) = 46828 \text{ kNm}$$

$$V_{SLU} = 1.35 * 1544 \text{ kNm} = 2084 \text{ kN}$$

La sezione di verifica corrisponde al frame 010

PROGETTAZIONE ATI:

**Caratteristiche generali**

Altezza	h	=	331.00	[cm]
Larghezza flangia superiore	b <sub>fs</sub>	=	60.00	[cm]
Larghezza flangia inferiore	b <sub>fi</sub>	=	100.00	[cm]
Spessore flangia superiore	t <sub>fs</sub>	=	3.00	[cm]
Spessore flangia inferiore	t <sub>fi</sub>	=	6.00	[cm]
Spessore dell'anima	t <sub>w</sub>	=	1.80	[cm]
Raggio del raccordo	r	=	0.00	[cm]
Altezza lorda dell'anima	h'	=	322.00	[cm]
Altezza netta dell'anima	h''	=	318.40	[cm]
Area della sezione	A	=	1359.60	[cm <sup>2</sup> ]
Momento statico della sezione	S <sub>x</sub>	=	157903.2	[cm <sup>3</sup> ]
Poisizione dell'asse baricentrico	y <sub>G</sub>	=	116.14	[cm]
Momento d'inerzia massimo	J <sub>xx</sub>	=	22383590	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia minimo	J <sub>yy</sub>	=	554313	[cm <sup>4</sup> ]
Angolo di inclinazione assi d'inerzia	θ	=	0	[°]
Momento d'inerzia ηη	J <sub>ηη</sub>	=	22383590	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia ξξ	J <sub>ξξ</sub>	=	554313	[cm <sup>4</sup> ]
Momento centrifugo	J <sub>ηξ</sub>	=	0	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia xx dell'ala superiore	J <sub>xx,fs</sub>	=	8194225	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia xx dell'ala inferiore	J <sub>xx,fi</sub>	=	7682121	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia xx dell'anima	J <sub>xx,w</sub>	=	6507244	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia torsionale	J <sub>t</sub>	=	8359	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia dell'area settoriale	J <sub>φ</sub>	=	#NOME?	[cm <sup>6</sup> ]
Modulo di resistenza xx esterno	W <sub>xx</sub>	=	104177.3	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx esterno	W <sub>xx</sub>	=	192730.3	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx interno	W' <sub>xx</sub>	=	105652.5	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx interno	W' <sub>xx</sub>	=	203229.5	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza yy	W <sub>yy</sub>	=	18477.1	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza yy	W <sub>yy</sub>	=	11086.3	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx esterno min.	W <sub>xx,min</sub>	=	104177.3	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx interno min.	W' <sub>xx,min</sub>	=	105652.5	[cm <sup>3</sup> ]

**Verifica**

Verifica a taglio

$$V_{Ed} / A_v = 2084 \text{ kN} / (322 \text{ cm} \times 1.8) = 3.59 \text{ kN/cm}^2 \ll \tau_{lim} = 19.5 \text{ kN/cm}^2$$

Verifica a momento

$$M_{Ed} / W_{el,min} = 4682800 \text{ kNcm} / 1.042E5 \text{ cm}^3 = 44.94 \text{ kN/cm}^2 > \sigma_{lim} = 33.8 \text{ kN/cm}^2$$

PROGETTAZIONE ATI:

VIADOTTO VENTURELLO - IMPALCATO- RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

La verifica non è soddisfatta, per questo si aumenta le dimensioni della piattabanda superiore portandola a 800 x 50 mm.

Altezza	$h$	=	331.00	[cm]
Larghezza flangia superiore	$b_{fs}$	=	80.00	[cm]
Larghezza flangia inferiore	$b_{fi}$	=	100.00	[cm]
Spessore flangia superiore	$t_{fs}$	=	5.00	[cm]
Spessore flangia inferiore	$t_{fi}$	=	6.00	[cm]
Spessore dell'anima	$t_w$	=	1.80	[cm]
Raggio del raccordo	$r$	=	0.00	[cm]
Altezza lorda dell'anima	$h'$	=	320.00	[cm]
Altezza netta dell'anima	$h''$	=	316.40	[cm]
Area della sezione	$A$	=	1576.00	[cm <sup>2</sup> ]
Momento statico della sezione	$S_x$	=	228816.0	[cm <sup>3</sup> ]
Poisizione dell'asse baricentrico	$y_G$	=	145.19	[cm]
Momento d'inerzia massimo	$J_{xx}$	=	30739094	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia minimo	$J_{yy}$	=	713644	[cm <sup>4</sup> ]
Angolo di inclinazione assi d'inerzia	$\theta$	=	0	[°]
Momento d'inerzia $\eta\eta$	$J_{\eta\eta}$	=	30739094	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia $\xi\xi$	$J_{\xi\xi}$	=	713644	[cm <sup>4</sup> ]
Momento centrifugo	$J_{\eta\xi}$	=	0	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia xx dell'ala superiore	$J_{xx,fs}$	=	13442176	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia xx dell'ala inferiore	$J_{xx,fi}$	=	12132225	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia xx dell'anima	$J_{xx,w}$	=	5164693	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia torsionale	$J_t$	=	11148	[cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia dell'area settoriale	$J_\phi$	=	#NOME?	[cm <sup>6</sup> ]
Modulo di resistenza xx esterno	$W_{xx}$	=	165431.0	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx esterno	$W_{xx}$	=	211719.5	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx interno	$W'_{xx}$	=	170005.7	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx interno	$W'_{xx}$	=	220846.2	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza yy	$W_{yy}$	=	17841.1	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza yy	$W_{yy}$	=	14272.9	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx esterno min.	$W_{xx,min}$	=	165431.0	[cm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza xx interno min.	$W'_{xx,min}$	=	170005.7	[cm <sup>3</sup> ]

PROGETTAZIONE ATI:

## Verifica

### Verifica a taglio

$$V_{Ed} / A_v = 2084 \text{ kN} / (320 \text{ cm} \times 1.8) = 3.61 \text{ kN/cm}^2 \ll \tau_{lim} = 19.5 \text{ kN/cm}^2$$

### Verifica a momento

Viene fatta in corrispondenza della piattabanda superiore che presenta il minimo momento resistente

$$M_{Ed} / W_{el,min} = 4682800 \text{ kNcm} / 1.654E5 \text{ cm}^3 = 28.38 \text{ kN/cm}^2 \ll \sigma_{lim} = 33.8 \text{ kN/cm}^2$$

### Verifica di stabilità

Si conduce la verifica secondo il § 7.3.2.2.2 delle CNR 10011, secondo il quale per le travi a doppio T laminate o composte, inflesse nel piano dell'anima, una verifica sommaria può essere condotta controllando, nel piano normale a quello di flessione, la stabilità dell'ala compressa, supposta isolata dall'anima.

In questo caso l'ala compressa è la piattabanda inferiore

PIATTABANDA INFERIORE	
i raggio d'inerzia (cm)	28.86
$\lambda$ snellezza	27.71
$\omega$	1.13
$\sigma_{crit}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	12.48
$\sigma$ (kN/cm <sup>2</sup> )	33.80
$\sigma_{crit} / \sigma$	0.37

Le verifiche di resistenza non risultano quindi dimensionanti e significative in questa fase.

## 12. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Ai sensi del paragrafo 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni si riporta nei successivi paragrafi il giudizio motivato di accettabilità dei risultati relativamente alle analisi svolte con elaboratore elettronico.

### 12.1. CONTROLLO DELLE REAZIONI

#### 12.1.1. FASE 1

Si riportano nella tabella seguente i valori di reazione derivanti dal calcolo manuale e dal modello di calcolo per la Fase 1.

FASE 1	L =	210	m
<i>IMPALCATO</i>			<i>kN/m</i>
Peso lineare acciaio			44.4
Peso lineare soletta			84.2
<i>Totale [kN]</i>			27006
<i>Carico da modello (Base Reaction)</i>			27006
<b>Differenza</b>			<b>0.00%</b>

#### 12.1.2. FASE 2

FASE 2	L =	210	m
<i>IMPALCATO</i>			<i>kN/m</i>
Pavimentazione			31.5
Cordoli			6.4
Guard Rail			6.0
Smaltimento acque			3.0
<i>Totale</i>			9845
<i>Carico da modello (Base Reaction)</i>			9844
<b>Differenza</b>			<b>0.01%</b>

La differenza massima risulta inferiore al 5%, si può quindi concludere che i modelli risultano attendibili.

PROGETTAZIONE ATI:

### 13. ALLEGATI

Si allegano alla presente relazione:

- 1) Output dei modelli di calcolo (SAP 2000)
- 2) Verifiche estese (PEC 4)

PROGETTAZIONE ATI: