

Committenti:



Comune di  
Reggio Emilia



Comune di  
Casalgrande

Provincia di Reggio Emilia

Livello di progettazione:

## PROGETTO ESECUTIVO STRALCIO 1

Progetto:

### INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC. SAN DONNINO



Progettista:

ing. Luca Piacentini

**PIACENTINI  
INGEGNERI**

via Belvedere 6, 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO)

Titolo elaborato:

### PROGETTO STRUTTURALE

### RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Scala:

-

RIFERIMENTI DOCUMENTO

STR-101		CODICE PROG.	CODICE DOCUMENTO	REV.	
		Nome File			
	TR3	PE-STR-101		A	
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	10/08/2020	EMISSIONE	AFR	LPI	LPI



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## INDICE

1.	OGGETTO .....	7
2.	ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO.....	8
	2.1. DESCRIZIONE CONTESTO EDILIZIO.....	8
	2.2. DESCRIZIONE GENERALE STRUTTURA .....	12
	2.3. NORMATIVA.....	16
	2.4. PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO.....	16
	2.5. DESCRIZIONE MATERIALI .....	16
	2.6. CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE .....	17
	2.7. COMBINAZIONI DI CALCOLO.....	17
	2.8. METODO DI ANALISI .....	17
	2.9. CRITERI DI VERIFICA .....	17
	2.10. DEFORMATE E SOLLECITAZIONI.....	17
	2.11. CODICI DI CALCOLO.....	17
	2.12. VERIFICHE GEOTECNICHE .....	17
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	18
4.	MATERIALI .....	19
	4.1. Acciaio per carpenterie metalliche .....	19
	4.2. Acciaio per laminati, profilati, piastre .....	19
	4.3. Acciaio per pioli di connessione trave-soletta .....	19
	4.4. Bulloni .....	20
	4.5. Calcestruzzo strutturale.....	20
	4.6. Acciaio per barre di armatura.....	21

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

## Documento

## Relazione di calcolo strutturale

5.	SOFTWARE DI CALCOLO .....	22
5.1.	<i>Pontiec4</i> .....	22
5.2.	<i>ParatiePlus</i> .....	22
5.3.	<i>Straus7</i> .....	22
6.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	23
7.	MODELLO DI CALCOLO .....	27
7.1.	<i>Modellazione generale</i> .....	27
7.2.	<i>Modello in ParatiePlus</i> .....	29
7.2.1.	Caratteristiche dei terreni .....	30
7.2.2.	Caratteristiche degli elementi strutturali .....	31
7.2.3.	Descrizione dei carichi .....	32
7.2.4.	Descrizione delle fasi .....	34
7.3.	<i>Modello in Straus7</i> .....	39
7.3.1.	Valori coefficiente di omogenizzazione .....	42
7.3.2.	Soletta collaborante .....	43
7.3.3.	Ripartizione trasversale carichi mobili .....	45
8.	CRITERI DI CALCOLO .....	48
8.1.	<i>Criteri di definizione delle azioni di calcolo</i> .....	48
8.2.	<i>Criteri e definizione dell'azione sismica</i> .....	51
8.2.1.	Definizione dei parametri di caratterizzazione sismica .....	52
8.2.2.	Analisi sismica spalle .....	54
8.3.	<i>Spinta delle terre</i> .....	55
8.4.	<i>Criteri di definizione delle resistenze di calcolo</i> .....	56
9.	CRITERI DI VERIFICA .....	58
9.1.	<i>S.L.U. – RESISTENZA SEZIONI</i> .....	59
9.2.	<i>S.L.E. – LIMITAZIONE TENSIONI</i> .....	61
9.3.	<i>S.L.E. – WEB BREATHING</i> .....	62
9.4.	<i>S.L.U. e S.L.E. – VERIFICA CONNESSIONI TRAVE SOLETTA</i> .....	62
9.5.	<i>S.L.F. – VERIFICA A FATICA</i> .....	64



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

## Documento

## Relazione di calcolo strutturale

9.5.1.	Coefficienti $\lambda$ .....	65
9.5.2.	Dettagli a fatica .....	69
10.	ANALISI DEI CARICHI.....	71
10.1.	<i>Carichi permanenti (<math>q_1</math> e <math>q_2</math>)</i> .....	71
10.1.1.	Ponte Stradale .....	71
10.1.2.	Passerella pedonale .....	72
10.2.	<i>Ritiro differenziale fra trave e soletta (<math>\epsilon_2</math>)</i> .....	72
10.2.1.	Ponte Stradale .....	74
10.2.2.	Passerella pedonale .....	74
10.3.	<i>Variazione termica differenziale (<math>\epsilon_3</math>)</i> .....	75
10.3.1.	Ponte Stradale .....	75
10.3.2.	Passerella pedonale .....	75
10.4.	<i>Variazione termica uniforme (<math>\epsilon_3</math>)</i> .....	76
10.4.1.	Ponte Stradale .....	76
10.4.2.	Passerella pedonale .....	77
10.5.	<i>Cedimenti differenziali delle spalle (<math>\epsilon_4</math>)</i> .....	77
10.6.	<i>Carichi da traffico (verifiche di resistenza) (<math>q_1</math>)</i> .....	78
10.7.	<i>Verifiche a fatica</i> .....	78
10.8.	<i>Azione di frenamento dei veicoli (<math>q_3</math>)</i> .....	79
10.9.	<i>Azione centrifuga (<math>q_4</math>)</i> .....	79
10.10.	<i>Vento (<math>q_6</math>)</i> .....	80
10.10.1.	Ponte Stradale .....	80
10.10.2.	Passerella pedonale .....	82
10.11.	<i>Azione sismica (<math>q_6</math>)</i> .....	84
10.12.	<i>Spinta delle terre e del sovraccarico a tergo</i> .....	84
10.13.	<i>Effetto dell'attrito terreno/struttura</i> .....	84
10.14.	<i>Coefficienti di spinta in condizioni statiche</i> .....	84
11.	VERIFICA PONTE STRADALE .....	88
11.1.	TRAVI DI IMPALCATO.....	88

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

## Documento

## Relazione di calcolo strutturale

11.1.1.	Proprietà geometrico-statiche delle travi longitudinali.....	88
11.1.2.	Sollecitazioni di calcolo .....	92
11.1.3.	Modello ParatiePlus .....	93
11.1.4.	Sezioni di verifica significative .....	110
11.1.5.	Sollecitazioni di calcolo .....	113
11.1.6.	Verifiche strutturali travi .....	117
11.1.7.	Riassunto verifiche travi.....	196
11.1.8.	Verifica a fessurazione soletta in direzione longitudinale.....	203
11.1.9.	Contromonte di progetto .....	206
	<i>11.2. SOLETTA DI IMPALCATO .....</i>	<i>209</i>
11.2.1.	Analisi dei carichi .....	210
11.2.2.	Calcolo in Fase 1 .....	212
11.2.3.	Calcolo in Fase 2 .....	220
	<i>11.3. FUSTO SPALLA.....</i>	<i>236</i>
11.3.1.	Combinazioni di verifica .....	236
11.3.2.	Sollecitazioni.....	238
11.3.3.	Verifiche.....	240
	<i>11.4. PALI .....</i>	<i>247</i>
11.4.1.	Criteri di calcolo .....	247
11.4.2.	Sollecitazioni.....	249
11.4.3.	Verifiche Strutturali.....	254
11.4.4.	Verifiche Geotecniche.....	267
12.	VERIFICA PASSERELLA PEDONALE.....	278
	<i>12.1. TRAVI DI IMPALCATO.....</i>	<i>278</i>
12.1.1.	Proprietà geometrico-statiche delle travi longitudinali.....	278
12.1.2.	Sollecitazioni di calcolo .....	282
12.1.3.	Modello ParatiePlus .....	283
12.1.4.	Sezioni di verifica significative .....	301
12.1.5.	Sollecitazioni di calcolo .....	302
12.1.6.	Verifiche strutturali travi .....	305

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

## Documento

## Relazione di calcolo strutturale

12.1.7.	Riassunto verifiche travi.....	378
12.1.8.	Verifica a fessurazione soletta in direzione longitudinale.....	383
12.1.9.	Contromonte di progetto .....	386
	<i>12.2. SOLETTA DI IMPALCATO .....</i>	<i>389</i>
12.2.1.	Analisi dei carichi .....	391
12.2.2.	Calcolo in Fase 1 .....	392
12.2.3.	Calcolo in Fase 2 .....	400
12.2.4.	PARAPETTO IMPALCATO .....	414
	<i>12.3. FUSTO SPALLA.....</i>	<i>416</i>
12.3.1.	Combinazioni di verifica .....	416
12.3.2.	Sollecitazioni .....	418
12.3.3.	Verifiche.....	420
	<i>12.4. PALI .....</i>	<i>427</i>
12.4.1.	Criteri di calcolo .....	427
12.4.2.	Sollecitazioni .....	429
12.4.3.	Verifiche Strutturali.....	433
12.4.4.	Verifiche Geotecniche .....	449
13.	MURO DI COLLEGAMENTO.....	460
	<i>13.1. Sollecitazioni .....</i>	<i>462</i>
	<i>13.2. Verifiche Strutturali Muro elevazione.....</i>	<i>465</i>
13.2.1.	Verifiche a flessione SLU – Muro.....	465
13.2.2.	Verifiche Limitazione tensione SLE Rara – Muro.....	466
13.2.3.	Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Muro .....	467
13.2.4.	Verifiche a taglio SLU – Muro .....	468
	<i>13.3. Verifiche Strutturali Pali di Fondazione .....</i>	<i>469</i>
13.3.1.	Verifiche a flessione SLU – Palo.....	469
13.3.2.	Verifiche Limitazione tensione SLE Rara – Palo.....	470
13.3.3.	Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Palo .....	471
13.3.4.	Verifiche a taglio SLU – Palo .....	472
	<i>13.4. Verifiche Geotecniche .....</i>	<i>473</i>

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

---

13.4.1. Mobilitazione spinta passiva di valle .....473

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 1. OGGETTO

La presente relazione costituisce parte integrante del progetto definitivo del rifacimento del ponte sul torrente Tresinaro in località San Donnino di Liguria e il collegamento alle arginature a quota adeguata.

Tale intervento nasce dall'esigenza di dare risposta alle criticità idrauliche emerse in corrispondenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato diverse regioni, tra le quali anche l'Emilia-Romagna, a partire dall'ottobre 2018.

Il progetto consiste nel rifacimento del ponte che collega San Donnino di Liguria (frazione del comune di Casalgrande) a Corticella (frazione del comune di Reggio Emilia).

Si presenta in questo elaborato la relazione di calcolo strutturale sia del ponte stradale che della passerella pedonale, che comprende il calcolo e il dimensionamento dell'impalcato, delle spalle e delle fondazioni. Inoltre si verifica anche il muro su pali di collegamento tra le spalle.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 2. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO

### 2.1. DESCRIZIONE CONTESTO EDILIZIO

Nella presente relazione viene presentato lo studio di fattibilità relativo a “l'intervento di rifacimento ponte e collegamento alle arginature esistenti a quota adeguata del nodo loc.S. Donnino. Tale intervento nasce dall'esigenza di dare risposta alle criticità idrauliche emerse in corrispondenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato diverse regioni, tra le quali anche l'Emilia-Romagna, a partire dall'ottobre 2018.

Il progetto prevede la ricostruzione del ponte San Donnino sul torrente Tresinaro e la realizzazione di una passerella ciclopedonale in affiancamento. La nuova opera, oltre a perseguire l'obiettivo preminente di migliorare le caratteristiche idrauliche del torrente in corrispondenza del tratto in oggetto, da risposta e supera i degradi diffusi sulle strutture dell'attuale ponte. Inoltre, considerando la limitata larghezza della sede stradale e la presenza di due incroci a pochissimi metri dall'opera ambo i lati, il nuovo ponte e la relativa passerella ciclopedonale vuole migliorare sensibilmente la sicurezza della mobilità stradale sia dal punto di vista dei veicoli motorizzati, che dal punto di vista della mobilità lenta dolce (veicoli non motorizzati e pedoni).

L'opera in progetto, volta a sostituire e migliorare il ponte esistente, è ubicata sul torrente Tresinaro tra i comuni di Reggio Emilia e Casalgrande, in particolare collega le frazioni di Corticella (estremo sud-est di Reggio Emilia) e San Donnino di Liguria (nord-ovest di Casalgrande). L'area in cui insiste l'opera ricade nell'ambito fluviale, in zona rurale di pianura. Entrambi i piccoli centri abitati più vicini, a nord Corticella e a sud San Donnino di Liguria, distano circa 350m dal ponte.

Appena a sud-est del ponte, nel comune di Casalgrande, è ubicata la storica tenuta del parco e della villa Spalletti-Trivelli ed in particolare l'ingresso alla proprietà. In prossimità

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

della strada, via Franceschini, è presente un corpo fabbrica attinente al comparto Spalletti, a forma di C e realizzato su tre livelli.

A corredo dell'asse stradale, dal ponte stesso fino al centro abitato di San Donnino, è presente un duplice filare di alberi, platani, da entrambi i lati della strada.

Dal lato del comune di Reggio Emilia la strada oltre il ponte prosegue su via Madonna di Corticella fino alla frazione omonima, ove non è presente né vegetazione arborea né arbustiva; a brevissima distanza è poi presente un incrocio con l'immissione di strada comunale Tresinara ( o via del torrente).

Sono presenti alcuni ostacoli fissi che dovranno essere rimossi, bypassati o spostati in fase di progettazione come alberi, plinti di sostegno di cartelli stradali e pali della luce. Sono presenti anche fossati che dovranno esser adeguati nelle successive fasi di progettazione.

L'attuale ponte è stato realizzato nella prima metà dell'Ottocento per collegare la tenuta Spalletti-Trivelli a via Emilia e permettere il sostentamento e la crescita dell'attività agricola che caratterizzava la proprietà. Il ponte era stato progettato e previsto per permettere i trasporti pesanti che, all'epoca, erano effettuati utilizzando carri trainati da buoi. Le spalle e le pile del ponte sono originali, anche se rimaneggiate con l'aggiunta di parti di rinforzo in c.c.a.; l'impalcato è stato invece completamente sostituito. Originariamente l'impalcato era ligneo, negli anni'50 è stato rifatto in c.c.a. Inoltre anche il parapetto originale in acciaio è stato demolito e sostituito con le attuali barriere di sicurezza in acciaio zincato.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Di seguito alcune immagini stato attuale dei luoghi:



*Stato attuale del ponte – dall'argine Sud, lato ovest*



*Stato attuale del ponte – dall'argine Sud, lato est*



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---



*Stato attuale del ponte – dall'argine Sud, lato est con evidenza sui degradi*

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 2.2. DESCRIZIONE GENERALE STRUTTURA

Il progetto consiste nel rifacimento del ponte che collega San Donnino di Liguria (frazione del comune di Casalgrande) a Corticella (frazione del comune di Reggio Emilia).

Si presenta in questo elaborato la relazione di calcolo strutturale sia del ponte stradale che della passerella pedonale, che comprende il calcolo e il dimensionamento dell'impalcato, delle spalle e delle fondazioni. Inoltre si verifica anche il muro su pali di collegamento tra le spalle.

La sezione trasversale del ponte stradale, di larghezza complessiva pari a 8.30m, è costituita da una sede carrabile di 7.00m e due cordoli esterni di larghezza complessiva pari a 1.30m. Il manufatto è un ponte a campata unica di luce di calcolo complessiva di 44.00m.

La sezione trasversale della passerella pedonale, di larghezza complessiva pari a 2.675m, è costituita da una sede carrabile di 2.50m (non sono previsti cordoli laterali). Il manufatto è un ponte a campata unica di luce di calcolo complessiva di 43.55m.

Il ponte presenta un impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo in continuità strutturale con le spalle secondo lo schema di ponte integrale. Tale soluzione consente di evitare l'installazione di apparecchi di appoggio (o di isolamento sismico) e di giunti di dilatazione sulle spalle, garantendo così una sensibile diminuzione della richiesta di manutenzione insieme ad un'ottima risposta della struttura alle azioni sismiche.

L'impalcato del ponte stradale è costituito quindi da 2 travi a "doppio T" in acciaio di interasse 4.00m, di altezza variabile da 1.10m circa in corrispondenza delle spalle a 1.30m in mezzera e soletta in calcestruzzo armato gettato in opera di spessore variabile da 0.21m a 0.2975m. Ciascuna trave è scomposta in 5 conci di lunghezza variabile. Le travi principali sono collegate trasversalmente da 3 traversi intermedi. La piattabanda superiore

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

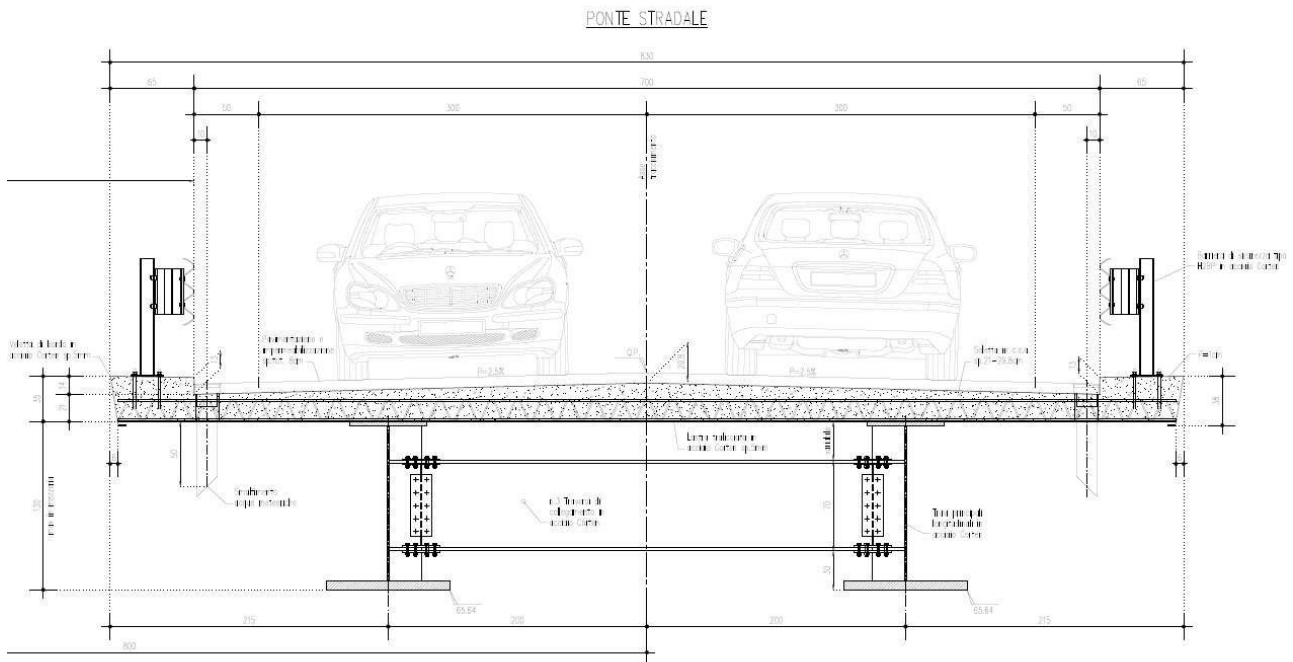
Documento

Relazione di calcolo strutturale

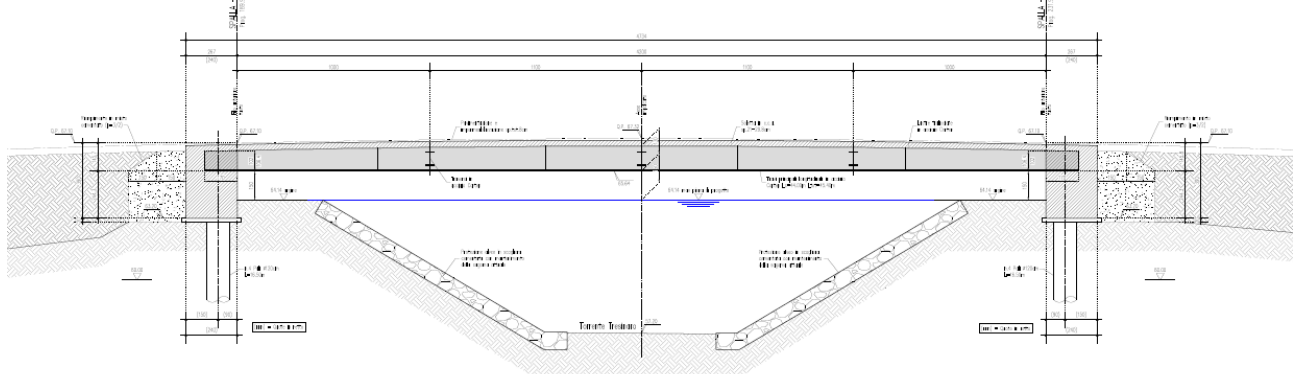
ha larghezza costante pari a 600mm e la piattabanda inferiore, invece, ha larghezza tipica pari a 950mm.

Si riporta di seguito una sezione trasversale del ponte stradale ed un prospetto longitudinale:

SEZIONE TRASVERSALE TIPO IMPALCATI 1:25



PONTE STRADALE : SEZIONE LONGITUDINALE LUNGO ASSE TRACCIAMENTO 1:100



L'impalcato della passerella pedonale è costituito da 1 cassone con travi a "doppio T" in acciaio, di altezza costante pari a 0.95m e soletta in calcestruzzo armato di spessore

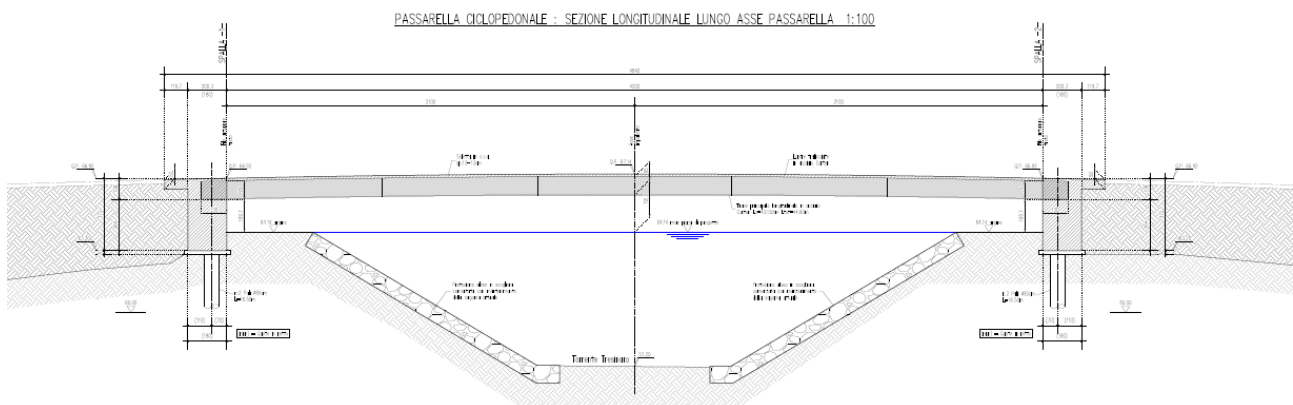
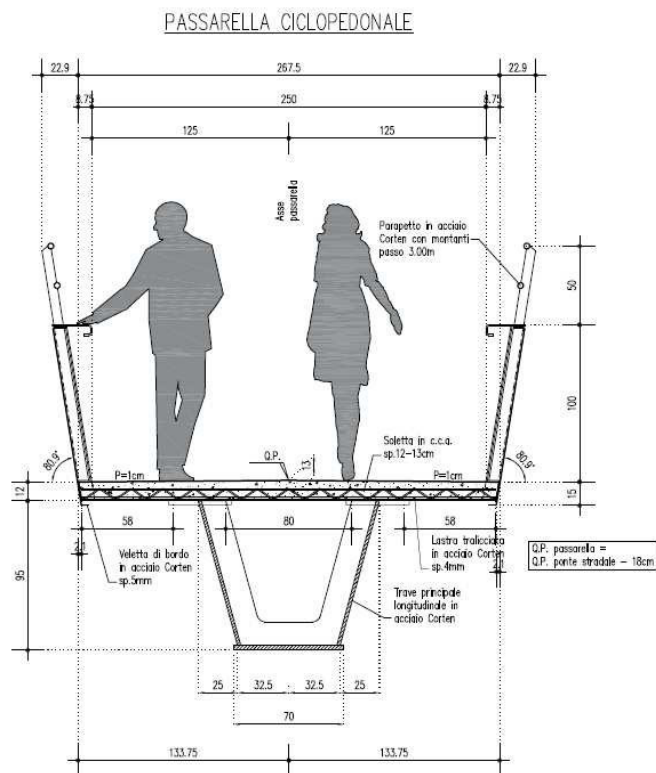
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

13cm. Ciascuna trave è scomposta in 5 conci di lunghezza variabile. Le travi principali sono collegate trasversalmente da irrigidenti intermedi di passo 3.00m. La piattabanda superiore è costituita da un piatto di acciaio di larghezza 400mm e spessore variabile e la piattabanda inferiore, invece, ha larghezza totale pari a 700mm.

Si riporta di seguito una sezione trasversale del ponte stradale ed un prospetto longitudinale:



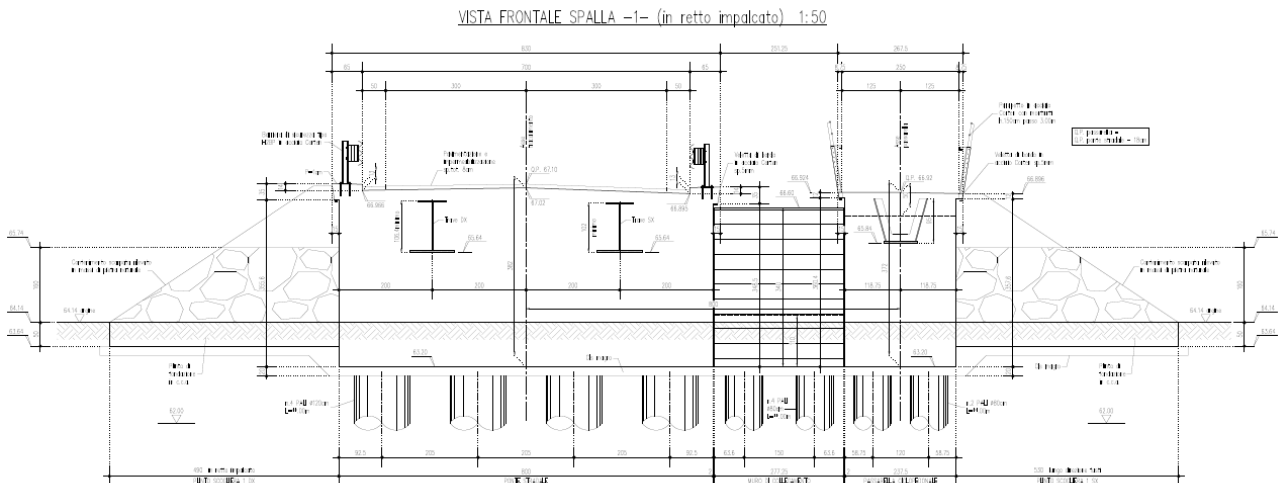
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le spalle del ponte stradale, realizzate in conglomerato cementizio armato, presentano uno sviluppo di forma rettangolare attestato su una palificata di fondazione costituita da una fila di pali  $\varnothing 1200$  mm.

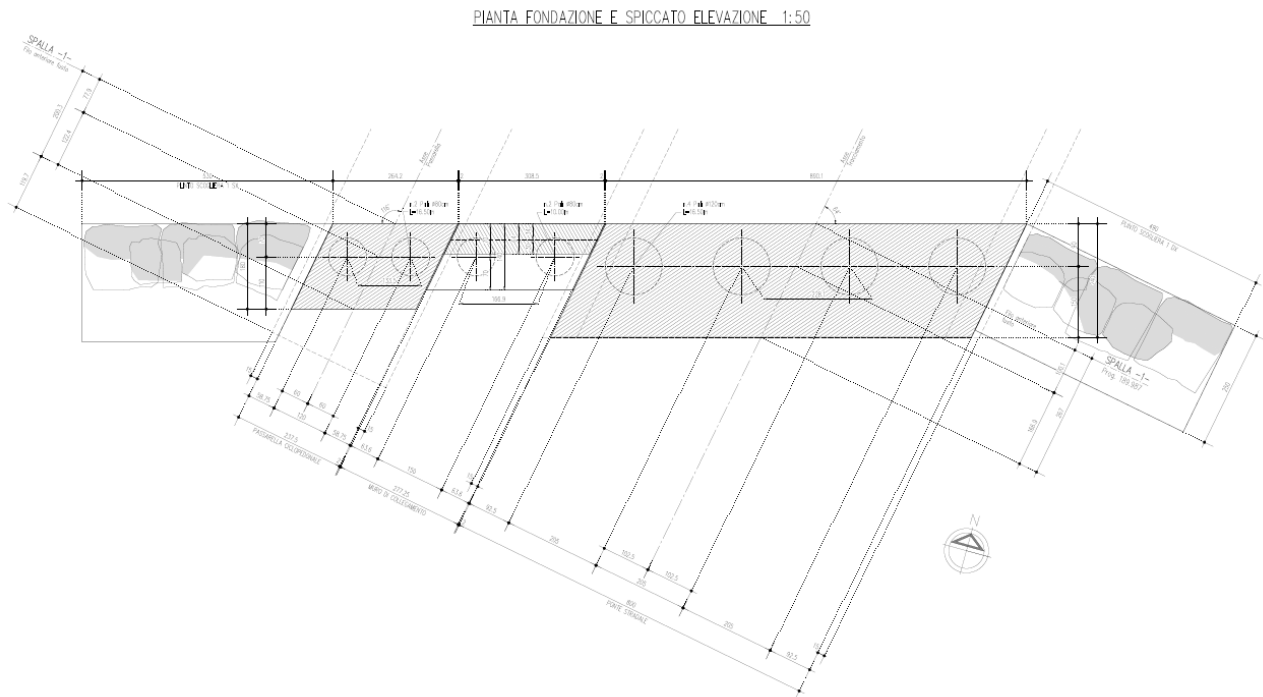
Le spalle della passerella, realizzate in conglomerato cementizio armato, presentano uno sviluppo di forma rettangolare attestato su una palificata di fondazione costituita da una fila di pali  $\varnothing 800$  mm.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



## 2.3. NORMATIVA

Si faccia riferimento al capitolo 3.

## 2.4. PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO

Si faccia riferimento al paragrafo 8.2.

## 2.5. DESCRIZIONE MATERIALI

Si faccia riferimento al capitolo 5.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## **2.6. CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE**

Si faccia riferimento al Capitolo 6, 7, 8.

## **2.7. COMBINAZIONI DI CALCOLO**

Si faccia riferimento al paragrafo 8.1.

## **2.8. METODO DI ANALISI**

Si faccia riferimento al Capitolo 7.

## **2.9. CRITERI DI VERIFICA**

Si faccia riferimento al Capitolo 9

## **2.10. DEFORMATE E SOLLECITAZIONI**

All'interno dei Capitoli 11, 12, 13 , rispettivamente riguardanti ponte stradale, Passerella pedonale e Muro di collegamento sono inserite le immagini relative a sollecitazioni e deformate.

## **2.11. CODICI DI CALCOLO**

Si faccia riferimento al Capitolo 5.

## **2.12. VERIFICHE GEOTECNICHE**

Si faccia riferimento al paragrafo 11.4.4, 12.4.4, 13.4 rispettivamente per ponte stradale, Passerella pedonale e Muro di collegamento.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I materiali prescritti sono conformi alle seguenti normative di riferimento:

- D. M. Min. Il. TT. del 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n.7 “Istruzione per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale;
- UNI EN 197- 1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni;
- UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206- 1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- EN 10027 1992: Sistemi di designazione degli acciai
- EN 10025 1992: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Condizioni tecniche di fornitura per prodotti piani di acciai per impieghi strutturali ad alto limite di snervamento allo stato bonificato
- EN 10113 1993: Prodotti laminati a caldo di acciai saldabili a grano fine, per impieghi strutturali. Condizioni di fornitura degli acciai ottenuti mediante laminazione termomeccanica.
- EN 14399 2005: Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 4. MATERIALI

### 4.1. Acciaio per carpenterie metalliche

Per spessori  $t \leq 40$  mm

Tipo: S355J2+W

Avente le seguenti caratteristiche:

Tensione di rottura  $f_t > 510$  N/mm<sup>2</sup>

Tensione di snervamento  $f_y > 355$  N/mm<sup>2</sup>

Per spessori  $t > 40$  mm

Tipo: S355K2+W

Avente le seguenti caratteristiche:

Tensione di rottura  $f_t > 470$  N/mm<sup>2</sup>

Tensione di snervamento  $f_y > 335$  N/mm<sup>2</sup>

### 4.2. Acciaio per laminati, profilati, piastre

Tipo: S355J0+W

Avente le seguenti caratteristiche:

Tensione di rottura a trazione  $f_t > 510$  N/mm<sup>2</sup>

Tensione di snervamento  $f_y > 355$  N/mm<sup>2</sup>

### 4.3. Acciaio per pioli di connessione trave-soletta

Per le connessioni a taglio tra la struttura metallica ed il CLS si prescrivono i seguenti pioli tipo "Nelson" (SECONDO LE UNI EN ISO 13918)

Tipo acciaio: S235J2G3+C450

Avente le seguenti caratteristiche:

Tensione di rottura a trazione  $f_t > 450$  N/mm<sup>2</sup>

Tensione di snervamento  $f_y > 350$  N/mm<sup>2</sup>

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 4.4. Bulloni

Secondo UNI EN 14399: 2005 part1 3, 4, 5 e 6

Viti classe 10.9 (UNI EN ISO 898 - 1: 2001)

Dadi classe 10.9 (UNI EN 20898-2: 1994)

Rosette acciaio C50 UNI EN 10083 - 2: 2006 (HRC 32-40)

## 4.5. Calcestruzzo strutturale

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle NTC 2018, in EN 1992-1-1, nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero nelle norme UNI EN 206-1 ed UNI 11104.

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO

### CORDOLI PONTE STRADALE

(compilato a pag. 11)

- CLASSE DI RESISTENZA	: C35/45
- CLASSE DI ESPOSIZIONE	: XC4-XC3-XF4
- CLASSE DI CONSISTENZA	: S4
- DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO	: 25 mm
- MASSIMO RAPPORTO A/C	: 0,45
- CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	: 360 kg/m <sup>3</sup>
- CONTENUTO MINIMO DI ARIA	: 3%
- COPRIFERRO NOMINALE	: 45 mm

Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/legolo

CORDOLI IMPALATO con condizioni ambientali a IMB. CONTROLLATO con determinazione max 0,0001

### NODI DI CONTINUITA' IMPALATI-SALLE

(parte stabile e passabile)

- CLASSE DI RESISTENZA	: C32/40
- CLASSE DI ESPOSIZIONE	: XC4-XC1
- CLASSE DI CONSISTENZA	: SCC
- DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO	: 20 mm
- MASSIMO RAPPORTO A/C	: 0,45
- CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	: 340 kg/m <sup>3</sup>
- COPRIFERRO NOMINALE	: 40 mm
- SLUMP FLOW TEST	: tra 600 e 700mm

### STRUTTURE DI FONDAZIONE E PAVI

(pav. di fondazione, pavi non e acciaio cementato all'aria)

- CLASSE DI RESISTENZA	: C25/30
- CLASSE DI ESPOSIZIONE	: XC2
- CLASSE DI CONSISTENZA	: S4
- DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO	: 32 mm
- MASSIMO RAPPORTO A/C	: 0,60
- CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	: 300 kg/m <sup>3</sup>
- COPRIFERRO NOMINALE (fondazione)	: C = 40 mm
- COPRIFERRO NOMINALE (pavi)	: C = 60 mm

### SOLETTA PONTE STRADALE

- CLASSE DI RESISTENZA	: C32/40
- CLASSE DI ESPOSIZIONE	: XC4
- CLASSE DI CONSISTENZA	: S4
- DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO	: 25 mm
- MASSIMO RAPPORTO A/C	: 0,50
- CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	: 340 kg/m <sup>3</sup>
- COPRIFERRO NOMINALE	: 35 mm

Condizioni ambientali a IMB. CONTROLLATO con determinazione max 0,0001

### SOLETTA PASSARELLA

- CLASSE DI RESISTENZA	: C32/40
- CLASSE DI ESPOSIZIONE	: XC4-XF3
- CLASSE DI CONSISTENZA	: S4
- DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO	: 25 mm
- MASSIMO RAPPORTO A/C	: 0,45
- CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	: 360 kg/m <sup>3</sup>
- CONTENUTO MINIMO DI ARIA	: 3%
- COPRIFERRO NOMINALE	: 35 mm

Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/legolo

SOLETTA con condizioni ambientali a IMB. CONTROLLATO con determinazione max 0,0001

### STRUTTURE IN ELEVAZIONE

(tra pavi di fondazione non)

- CLASSE DI RESISTENZA	: C32/40
- CLASSE DI ESPOSIZIONE	: XC4-XC1
- CLASSE DI CONSISTENZA	: S4
- DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO	: 25 mm
- MASSIMO RAPPORTO A/C	: 0,40
- CONTENUTO MINIMO DI CEMENTO	: 340 kg/m <sup>3</sup>
- COPRIFERRO NOMINALE	: 40 mm

In accordo con quanto riportato nelle tabelle precedenti, le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo utilizzate nelle analisi strutturali e nelle verifiche sono le seguenti:

Grandezza		u.m.	C25/30	C30/37	C32/40	C35/45
Resistenza caratteristica a compressione	$f_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	25,00	30,00	32,00	35,00
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd}$	N/mm <sup>2</sup>	14,17	17,00	18,13	19,83
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk}$	N/mm <sup>2</sup>	1,80	2,00	2,12	2,25
Tensione di aderenza cls-armatura	$f_{bd}$	N/mm <sup>2</sup>	2,70	3,00	3,18	3,37
Tensione massima di compressione (comb. rara)	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	15,00	18,00	19,20	21,00
Tensione massima di compressione (comb. q.p.)	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	11,25	13,50	14,40	15,75
Modulo elastico medio istantaneo	$E_m$	N/mm <sup>2</sup>	31476	32836	33346	34077

## 4.6. Acciaio per barre di armatura

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento, che presentano le seguenti caratteristiche:

Tensione di snervamento	$f_{yk}$	≥	450 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di rottura	$f_{tk}$	≥	540 N/mm <sup>2</sup>

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 5. SOFTWARE DI CALCOLO

### 5.1. Pontiec4

Le verifiche sezionali dell'impalcato sono state eseguite utilizzando il programma Ponti EC4, software per il calcolo di sezioni miste acciaio-calcestruzzo per impalcati da ponte, sviluppato da Alhambra s.r.l. Il programma consente di eseguire tutte le verifiche connesse alla progettazione di una trave in sezione composta acciaio-calcestruzzo con riferimento alle metodologie indicate dagli Eurocodici.

### 5.2. ParatiePlus

Il software ParatiePlus è stato utilizzato per studiare i fenomeni di interazione suolo-struttura al fine di determinare lo scambio di sollecitazioni tra la pali, spalla ed impalcato.

### 5.3. Straus7

Il codice di calcolo utilizzato è Straus7, programma di modellazione strutturale agli elementi finiti di comprovata validità. Il codice è stato utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni derivanti dalle analisi statiche dell'opera. I risultati delle sollecitazioni sono stati controllati manualmente a campione mediante metodi semplificati per verificare l'ordine di grandezza dei risultati.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

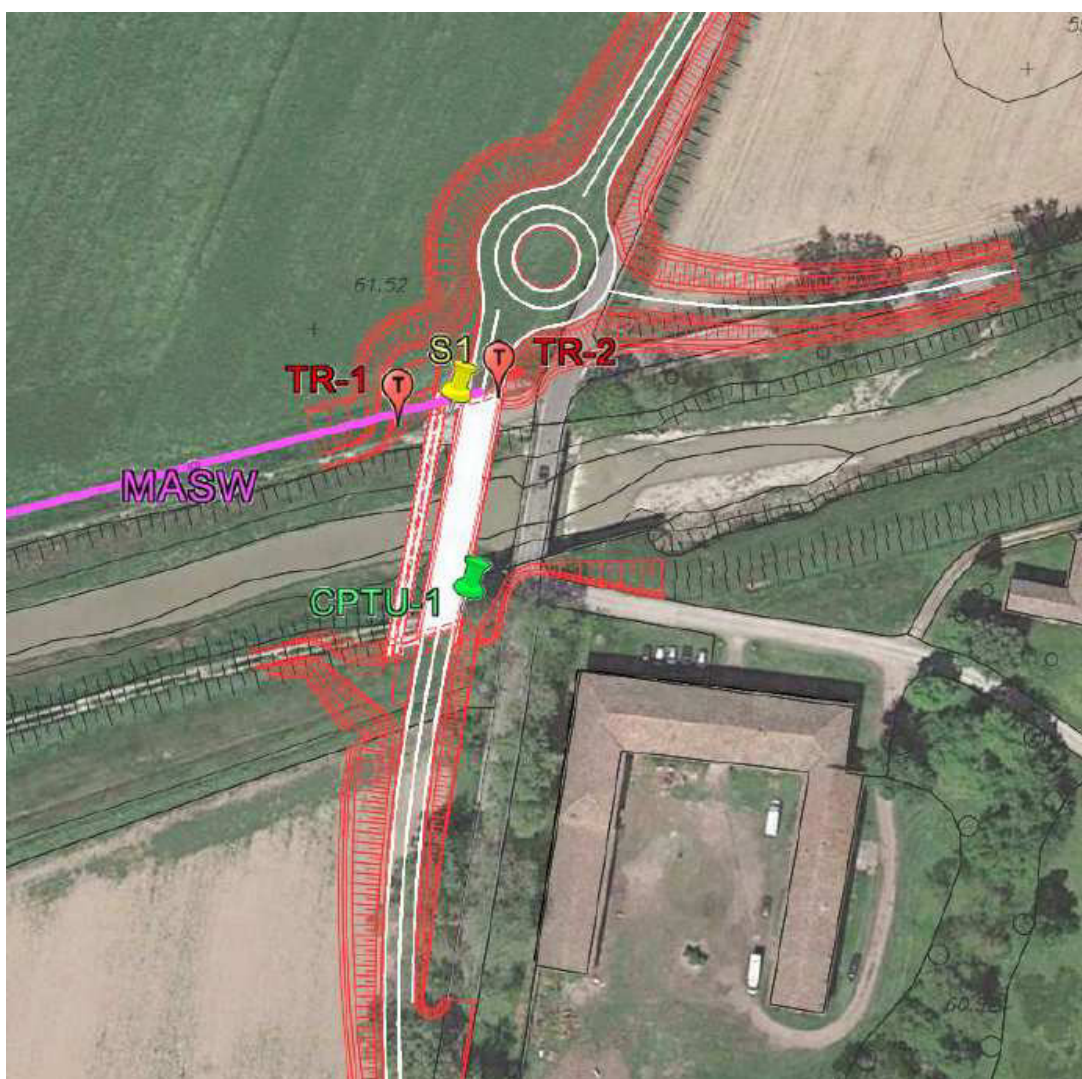
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base delle indagini geognostiche e della sezione geologica è stata redatta la caratterizzazione geotecnica di progetto (vedi Relazione Geotecnica). Si riporta quindi di seguito la stratigrafia e la caratterizzazione geotecnica di progetto in termini di parametri caratteristici.

Si riporta di seguito la pianta con indicazione delle prove geognostiche:



Sono state quindi svolte le seguenti indagini geognostiche:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

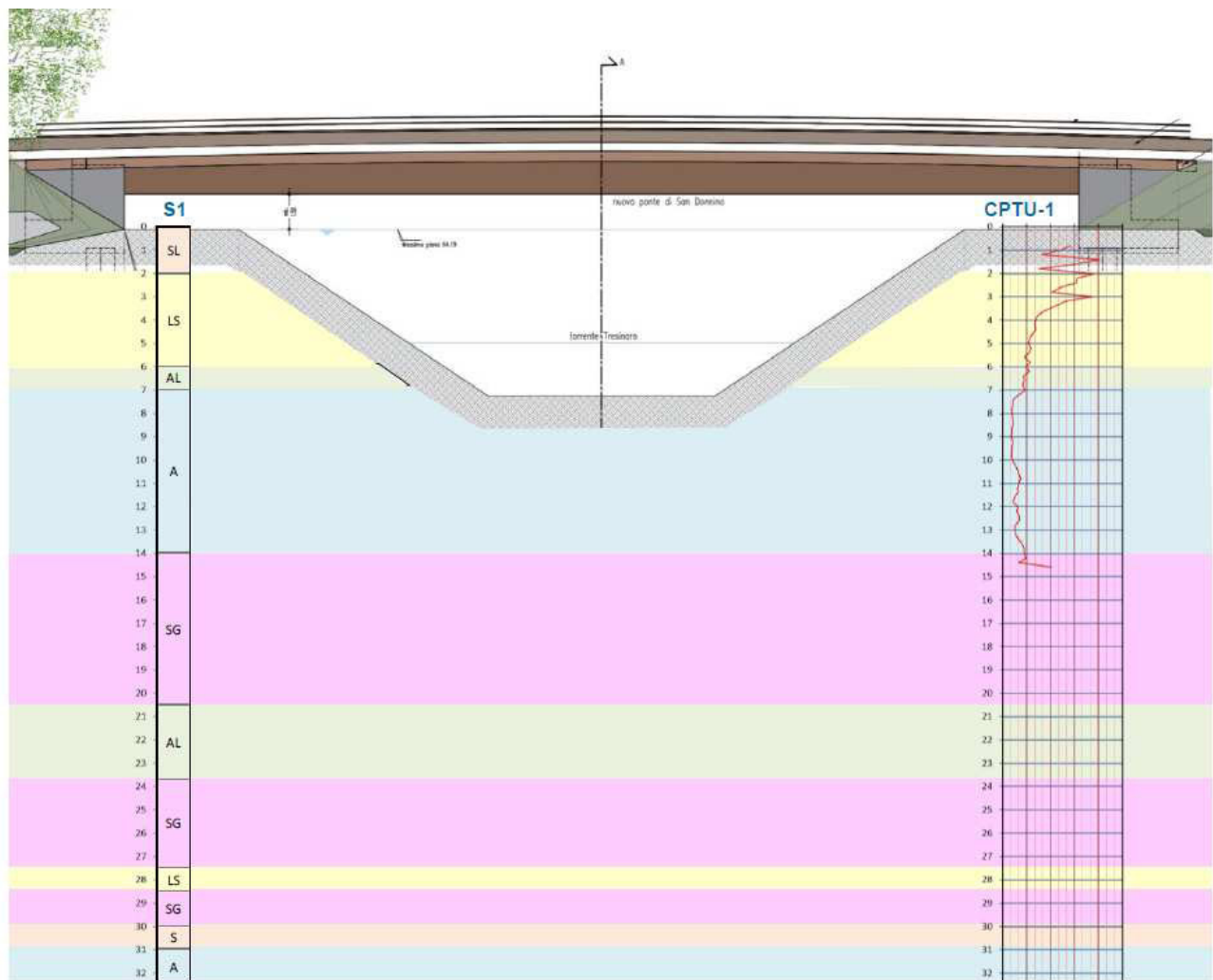
1 Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campioni;

1 Prova penetrometrica statica CPTU

1 Registrazione sismica con stendimenti MASW

2 Registrosioni a stazione singola HVSR

Si riporta di seguito la sezione trasversale con indicazione degli strati del terreno:





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

LEGENDA

G	Terreni prevalentemente Ghiaiosi
SG	Sabbie con Ghiaie
S	Litologie prevalentemente Sabbiose
SL	Sabbie Limose
LS	Limi Sabbiosi
L	Litologie prevalentemente Limose
LA	Limi Argillosi
AL	Argille Limose
A	Litologie prevalentemente Argillose

Si riporta di seguito la parametrizzazione geotecnica dei vari strati:

Profondità		S	Descrizione Litologica	Laboratorio					Nspt		CPTU <sup>(1)</sup>			
da [m]	a [m]			CAMP	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	Cu [KPa]	$\phi^*$ [°]	C' [KPa]	Num Colpi	$\phi^*$ [°]	Cu [KPa]	$\phi^*$ [°]	Ed [KPa]	Mo [KPa]
0.0	2.0	SL	Terreno di Riporto. Sabbie e sabbie limose	20 <sup>(2)</sup>							31		23500	
2.0	6.0	LS	Limi e Limi sabbiosi	20 <sup>(2)</sup>						100	26	7200		
6.0	7.0	AL	Argille Limose	20 <sup>(2)</sup>						100	22	7900		
7.0	14.0	A	Argille e Argille limose	19 <sup>(2)</sup>						70	20 <sup>(2)</sup>	6000		
14.0	20.5	SG	Ghiaie in matriche limo sabbiosa	20 <sup>(2)</sup>				>50 [14.6] 44 [17.4] 55 [19.5]	45 43 40					
20.5	23.7	AL	Argille limose	19 <sup>(2)</sup>										
23.7	27.5	SG	Ghiaie in abbondante matrice limo sabbiosa	20 <sup>(2)</sup>				41 [24.0]	40					
27.5	28.5	LS		19 <sup>(2)</sup>										
28.5	30.0	SG	Sabbie con Ghiaie	20 <sup>(2)</sup>										
30.0	31.0	S	Sabbie	19 <sup>(2)</sup>				23	34					
31.0	32.5	A		19 <sup>(2)</sup>										

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

dove:

$\gamma$  = peso specifico totale

$\Phi'$  = angolo di attrito efficace

$c'$  = coesione efficace

$c_u$  = coesione non drenata

$E_{dr}$  = modulo di Young in condizioni drenate

$E_{udr}$  = modulo di Young in condizioni non drenate

Per il terreno da rilevato si sono utilizzati i seguenti parametri:

$\gamma = 19 \text{ kN/mc}$

$\Phi' = 35^\circ$

$c' = 0 \text{ kPa}$

$E_{dr} = 40 \text{ MPa}$

La falda presenta profondità variabile con un minimo pari a 14,0 m al di sotto di piano campagna (corrispondente alla quota delle ghiaie) ad un massimo pari a 7,8 m al di sotto di piano campagna.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 7. MODELLO DI CALCOLO

### 7.1. Modellazione generale

Vengono definiti Integrali i ponti che presentano una spalla fondata su pali solidarizzata all'impalcato mediante un collegamento rigido che può essere realizzato con varie tecnologie. Il risultato di tale connessione è una struttura dotata di nodi in cui si ha trasmissione delle sollecitazioni normali, taglianti e flettenti dall'impalcato alla spalla e viceversa.

La struttura risulta quindi essere assimilabile ad un portale al quale sono contemporaneamente applicati i carichi tipici degli impalcati da ponte e delle spinte del terreno.

Si ha quindi trasmissione delle sollecitazioni tra spalla ed impalcato secondo lo schema seguente:

<b>Impalcato</b>	<b>Spalla</b>
Momento flettente↔	Momento flettente
Sforzo normale↔	Taglio
Taglio↔	Sforzo normale

L'analisi della struttura in esame deve tenere conto delle peculiarità dell'interazione struttura-terreno:

- Terreno modellato come un letto di molle con legame costitutivo elastico-perfettamente plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb;
- Struttura discretizzata in elementi perfettamente elastici;
- Falda introdotta definendo le quote piezometriche di valle e di monte (che possono essere modificate nel corso dell'analisi);
- Spinta del terreno a monte della spalla calcolata tenendo conto del detensionamento del cuneo di spinta, cioè variabilità della spinta in funzione della deformazione del paramento;
- Deformazione e sollecitazione residua in casi di scaricamento della struttura nell'ambito delle storie di carico.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Le esigenze di interpretazione del comportamento del terreno a tergo spalla-pali richiede l'adozione di un metodo di calcolo che sia in grado di modellare l'interazione terreno-struttura e che tenga in conto della non linearità di tale interazione.

Impalcato e spalla sono stati studiati sulla base di due modelli di calcolo differenti, uno in ParatiePlus e l'altro in Straus7. In quest'ultimo modello il contributo in termini di vincolamento offerto dall'elemento complementare viene introdotto sottoforma di molla di opportuna rigidità traslazionale e rotazionale. Considerando che il vincolo offerto dal terreno è tipicamente non lineare, si andrà a controllare una range di rigidità attorno al valore di sollecitazione/spostamento tipico imposto dal carico in oggetto (esempio carichi da traffico). Se il campo di variabilità della rigidità offerta dalla sottostruttura, intesa come spalla e terreno a tergo, risulta contenuto si ritiene accettabile introdurre un unico valore di rigidità lineare.

Il metodo di calcolo si basa quindi sullo sviluppo di un modello di calcolo costruito su Straus7 che modella solo l'impalcato, e risulta vincolato al bordo tramite molle lineari, sollecitato con casi di carico che per ragioni proprie del software risultano complicate da inserire direttamente nel software Paratie.

Per il calcolo delle azioni agenti nei pali e della rigidità offerta dalle sottostrutture all'impalcato è stato utilizzato il software Paratie che permette di analizzare compiutamente il comportamento della fondazione, includendo gli effetti di non linearità dovuti sia all'anisotropia e disomogeneità del mezzo terreno, sia alla fasistica di costruzione che prevede modifiche di schema statico della struttura. Di seguito si dettagliano le fasi considerate nel modello, che rispecchiano la reale fasistica di realizzazione del cavalcavia:

- Situazione geostatica.
- Scavo a tergo delle spalle.
- Realizzazione dei pali di fondazione.
- Realizzazione degli elementi di elevazione delle spalle, fino alla quota di "fine primo getto".
- Varo dell'impalcato.
- Getto della soletta seguendo le fasi definite negli elaborati grafici.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

- Getto del nodo di connessione tra travi e paratia.
- Riempimento a tergo delle spalle.
- Realizzazione della pavimentazione e delle finiture.
- Apertura al traffico ed altri carichi variabili agenti.

Il modello creato in Paratie è stato quindi utilizzato per un triplice scopo:

- Quantificare il grado di vincolo offerto dalle sottostrutture all'impalcato in termini di rigidità rotazionale nel nodo di connessione spalla-impalcato.
- Valutare le sollecitazioni sui pali;
- Ricavare le sollecitazioni sismiche sulla struttura, ottenute applicando all'interno modello solamente l'accelerazione massima.

L'approccio di calcolo risulta lo stesso per il ponte stradale e ciclopedonale, naturalmente cambieranno le quantità e dimensioni in gioco.

## 7.2. Modello in ParatiePlus

Il modello realizzato tramite il programma di calcolo agli elementi finiti ParatiePlus ha lo scopo di ottenere le sollecitazioni sui pali di fondazione e spalle e le sollecitazioni agenti nell'impalcato. Non tutti i casi di carico riguardanti l'impalcato vengono trattati nel modello in ParatiePlus.

Il modello implementato su ParatiePlus è un modello piano realizzato per un metro di profondità. In esso tutti gli elementi strutturali (impalcato, spalle, pali di fondazione) sono modellati con le relative caratteristiche meccaniche e tutti gli strati di terreno sono modellati con i relativi spessori e le proprie caratteristiche geotecniche, descritte nel capitolo 4.

Di seguito viene riportata un'immagine globale del modello, al fine di mostrarne le principali geometrie e l'impostazione dello stesso.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



Di seguito vengono riportate delle tabelle che descrivono le principali caratteristiche dei terreni e degli elementi strutturali nei due diversi modelli di calcolo.

## 7.2.1. Caratteristiche dei terreni

Terreno	Modello costitutivo	E' [MPa]	c' [kPa] (D) / c <sub>u</sub> [kPa] (ND)	φ' [°]	Y [kN/m <sup>3</sup> ]
<i>Rilevato</i>	Mohr-Coulomb D	40	0	35	19.0
<i>Sabbie limose</i>	Mohr-Coulomb D	35	0	34	18.0
<i>Limo sabbioso</i>	Mohr-Coulomb D	23.5	0	31	20.0
<i>Argille limose</i>	Mohr-Coulomb D	7.9	5	22	20.0
<i>Argille</i>	Mohr-Coulomb D	6.0	5	20	19.0
<i>Ghiaia</i>	Mohr-Coulomb D	40.0	0	40	20.0

\* D: drenato

La falda è stata introdotta alla quota più elevata ovvero a -7.60m nel modello di calcolo.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 7.2.2. Caratteristiche degli elementi strutturali

Gli elementi strutturali sono stati modellati come segue:

- **Impalcato:** modellato su Paratie tramite elementi slab. I cambi di caratteristiche delle sezioni lungo l'estensione dell'impalcato sono stati modellati creando plate con caratteristiche differenti, analogamente alla stessa procedura sul modello strutturale implementato nel programma Straus7. Questo è visibile anche nell'immagine del modello soprariportata, nella quale i tratti differenti di impalcato sono caratterizzati da colori differenti
- **Spalle:** modellate su ParatiePlus tramite elementi parete.
- **Pali di fondazione:** modellati su ParatiePlus tramite elementi parete.

Si specifica che per quanto riguarda l'impalcato sono stati introdotti i valori di rigidezza EA ed EI sia a breve termine ( $n=6$ ) per i carichi istantanei, sia a lungo termine ( $n=18$ ) per i carichi di lunga durata. Infine per l'impalcato non avendo la possibilità di distinguere la rigidezza lungo lo sviluppo longitudinale del ponte, è stato introdotto un unico valore ottenuto dalla media delle rigidezze dei 5 conci, considerando il primo concio avente soletta fessurata. L'omogenizzazione della sezione composta è da considerarsi lato acciaio, quindi avente  $E=210000$  MPa.

Caratteristiche degli elementi strutturali modello Ponte stradale

Elemento	A [m <sup>2</sup> /m]	I [m <sup>4</sup> /m]
<i>Impalcato (n=6)</i>	0.068	0.019
<i>Impalcato (n=18)</i>	0.045	0.015
<i>Spalla tk 2.40m</i>	2.40	1.152
<i>Pali <math>\phi 1200</math> i=2.05m</i>	0.55	0.05

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Caratteristiche degli elementi strutturali modello Passerella ciclopedonale

Elemento	A [m <sup>2</sup> /m]	I [m <sup>4</sup> /m]
<i>Impalcato (n=6)</i>	0.045	0.0075
<i>Impalcato (n=18)</i>	0.032	0.006
<i>Spalla tk 1.80m</i>	1.80	0.486
<i>Pali <math>\phi</math>800 i=1.20m</i>	0.42	0.017

Queste caratteristiche degli elementi strutturali sono calcolate dividendo per l'afferenza delle travi (4.15m); questo perché il modello di ParatiePlus considera esclusivamente un metro di profondità nella propria modellazione. Con lo stesso ragionamento sono stati calcolati gli interassi tra i pali da inserire nel modello, in modo che esso considerasse il numero giusto di pali sull'afferenza della trave.

### 7.2.3. Descrizione dei carichi

Di seguito viene descritta la metodologia di applicazione di tutti i carichi considerati sul modello di Paratie. Per quanto riguarda i valori dei carichi applicati si veda nel seguito il capitolo di Analisi dei carichi.

- **Pesi propri:** i pesi propri degli elementi strutturali spalle e pali vengono determinati manualmente.

I pesi propri dell'impalcato non vengono inseriti direttamente nella descrizione degli elementi corrispondenti, ma come forze concentrate sui due setti delle spalle. Questo è fatto per differenziare le diverse fasi realizzative della struttura, che prevedono prima una fase nella quale l'impalcato risulta appoggiato (in questa fase sono stati quindi scaricati solamente i pesi senza rendere la struttura continua con l'impalcato) e quindi una fase nella quale si realizza la continuità tra l'impalcato e il resto della struttura (in questa fase la continuità strutturale è modellata su Paratie tramite l'attivazione di tutti gli elementi plate dell'impalcato e continuando a mantenere attive le forze che ne rappresentano i pesi propri).

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

- **Spinta delle terre:** la spinta delle terre è presa direttamente in considerazione dal programma di calcolo, una volta inserite la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche di ciascuno strato.
- **Carichi permanenti portati:** i carichi permanenti portati sono modellati come un carico uniformemente distribuito su tutto l'impalcato.
- **Carico dovuto all'azione termica stagionale:** il carico dovuto all'azione termica stagionale è applicato come due forze concentrate alle due estremità dell'impalcato. Esse sono state applicate in modo da modellare sia una condizione di espansione che una condizione di contrazione. Tenendo in considerazione un parametro  $\alpha$  pari a  $1.15 \times 10^{-5}$  e  $DT$  stagionale =  $30^\circ\text{C}$ . Questo carico agisce a lungo termine con  $n=18$ .
- **Sovraccarico a tergo spalla:** il sovraccarico a tergo spalla è stato applicato come un carico uniformemente distribuito pari a  $25 \text{ kN/mq}$  per il ponte stradale e  $5 \text{ kN/mq}$  per la passerella ciclopedonale.
- **Carichi da traffico:** le azioni flettenti nell'impalcato indotte dai carichi da traffico vengono estratte dal modello Straus7, nel quale vi è la possibilità di inserire distintamente il carico distribuito e il carico tandem, azione che in Paratie non è consentita. Per questo motivo si è proceduto estraendo dal modello Straus7 il valore di momento flettente massimo negativo in spalla e noto questo valore, si è determinato un carico equivalente fittizio nel modello Paratie che generasse lo stesso momento negativo. In questo motivo si è quindi risalito dal modello Paratie alle azioni assiali, flettenti e taglianti trasferite dall'impalcato alle sottostrutture.
- **Azione sismica:** l'azione sismica è applicata su Paratie imponendo alla sua analisi pseudo-statica l'accelerazione massima ricavata da analisi di Risposta Sismica Locale pari a  $0.266g$ . Per considerare il contributo inerziale degli elementi strutturali



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

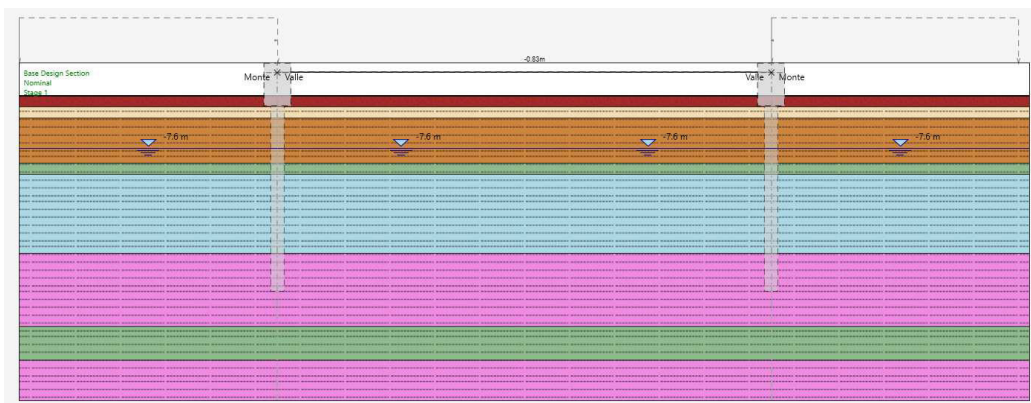
Relazione di calcolo strutturale

e dei carichi permanenti portati, sono state inoltre inserite in questa fase le forze inerziali corrispondenti.

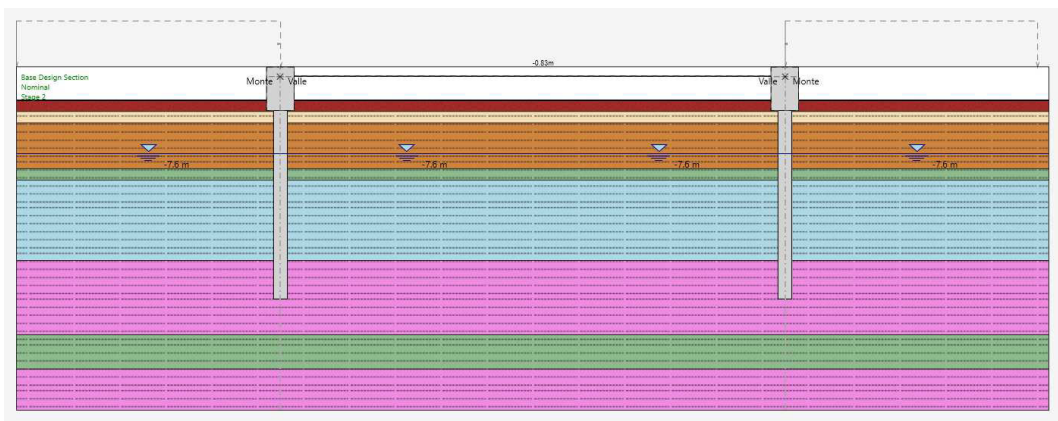
## 7.2.4. Descrizione delle fasi

Il modello implementato sul programma di calcolo Paratie è descritto tramite le fasi realizzative della struttura e le successive fasi di applicazione dei carichi. Nel seguito vengono descritte le fasi principali. Tra le fasi, ove opportuno, si è inserita una fase di scarico dal carico variabile precedentemente applicato.

**Fase 1:** Fase iniziale caratterizzata dalla sola presenza del terreno naturale indisturbato.



**Fase 2:** Fase di realizzazione dei pali di fondazione della struttura e spalle e della continuità con l'impalcato.



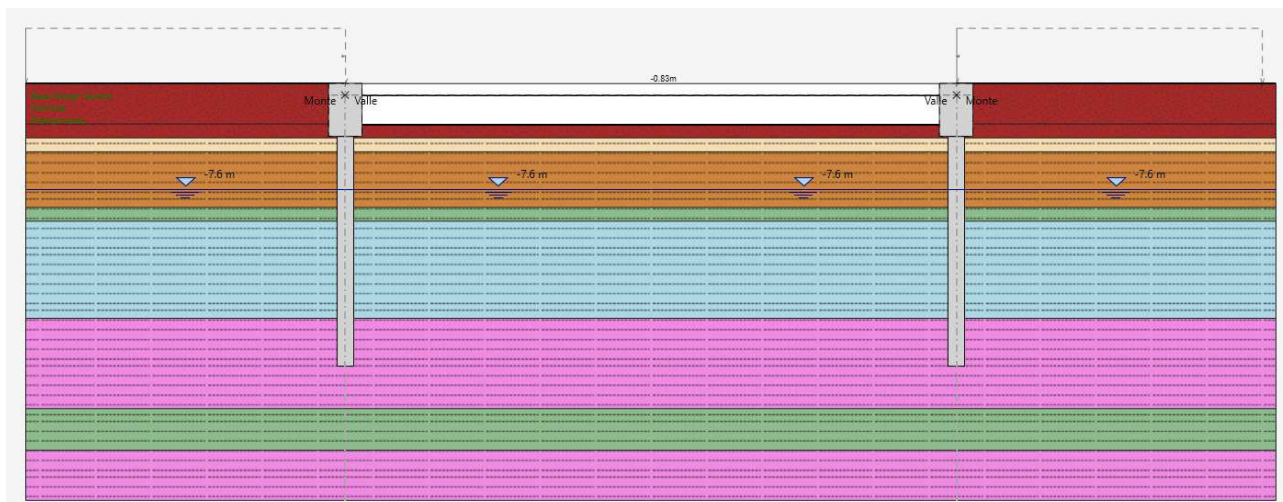


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

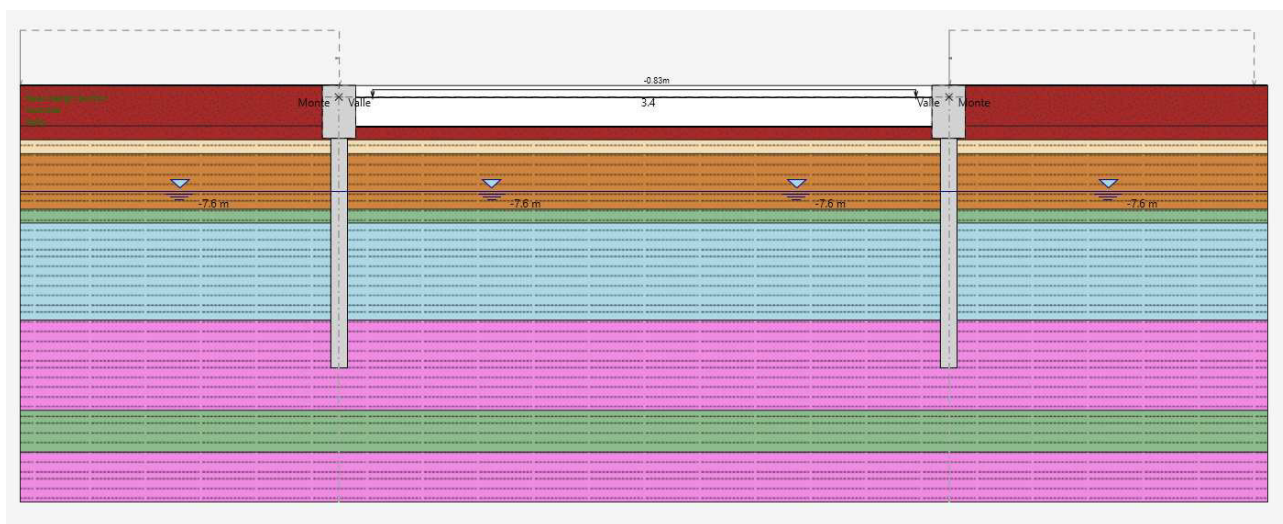
Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Fase 3:** Fase di messa in opera del riporto a tergo spalla. Un'immagine della fase 7 viene riportata di seguito. In essa è attivato il terreno di riporto.



**Fase 4:** Fase di applicazione nel modello dei carichi permanenti portati. Un'immagine della fase 8 viene riportata di seguito. In essa è attivato il carico uniformemente distribuito che descrive i carichi permanenti portati.

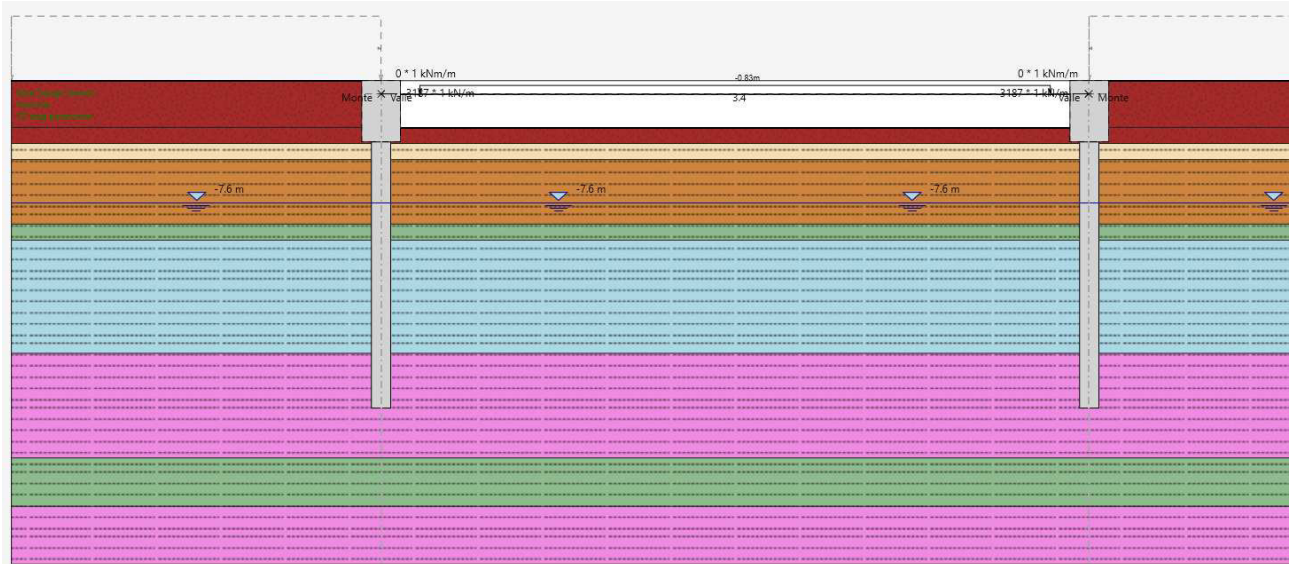


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

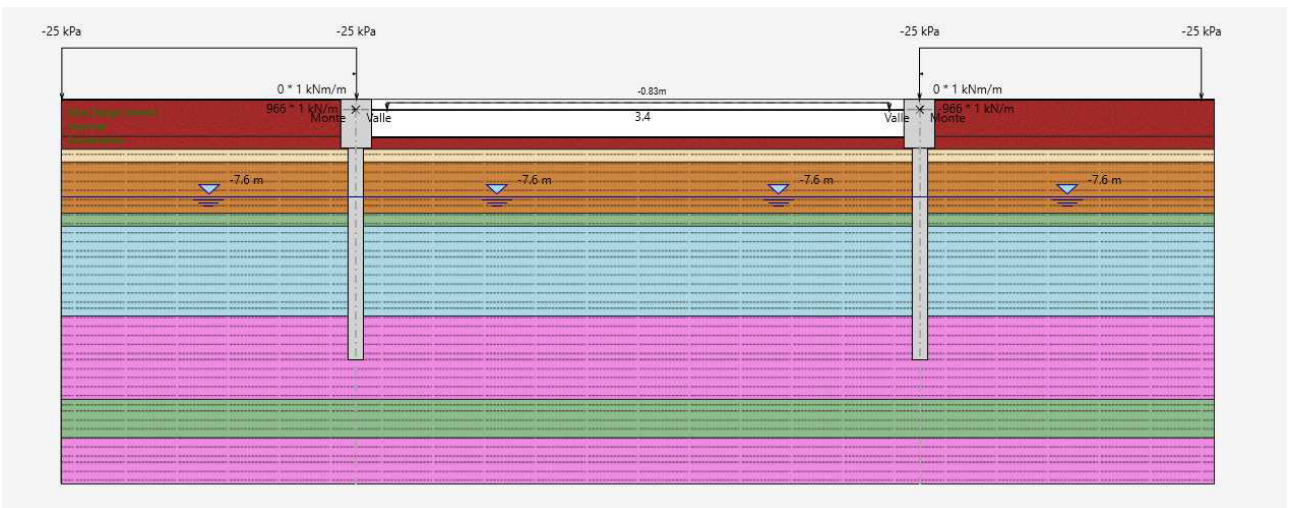
Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Fase 5:** Fase di applicazione della variazione termica stagionale come forze concentrate in testa spalla.



**Fase 6:** Fase di applicazione del sovraccarico a tergo opera:





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

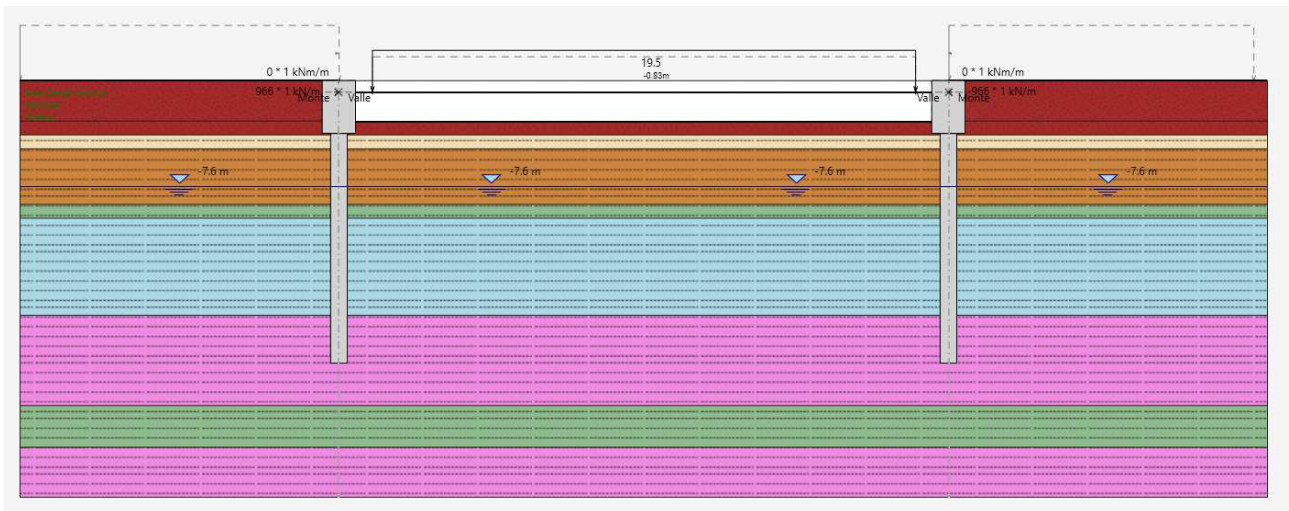
Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Fase 7:** Fase di applicazione del carico verticale sulla trave dovuto al vento:



**Fase 8:** Fase di applicazione dei carichi verticali da traffico:

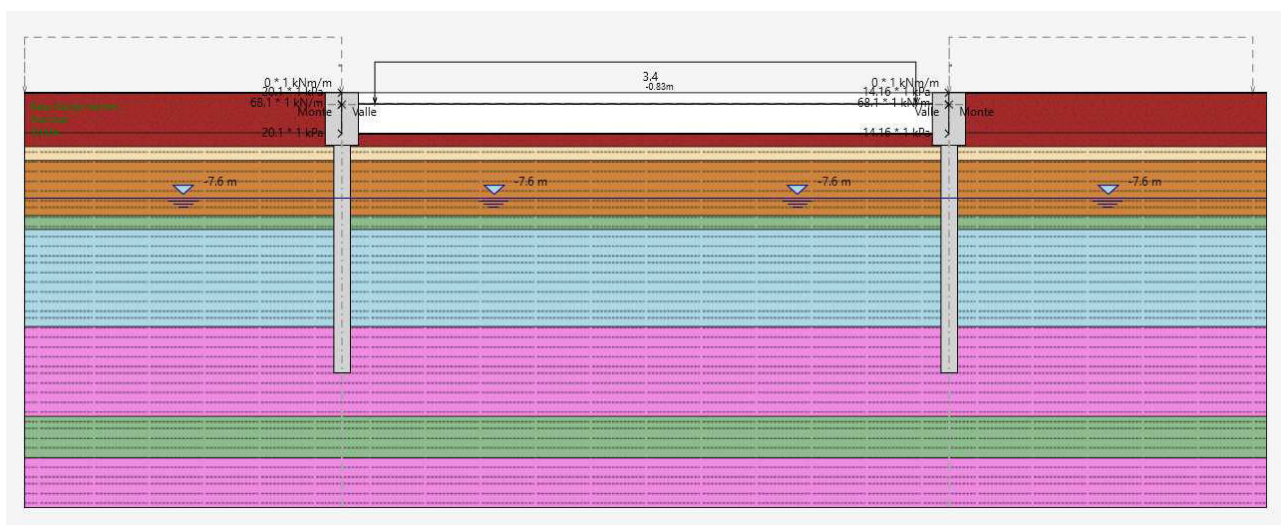


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Fase 9:** Azione sismica al modello, nel modo spiegato in precedenza nel presente capitolo. Un'immagine di tale fase viene riportata nel seguito. Esse sono quelle relative al peso proprio dell'impalcato e ai carichi permanenti portati. Essendo infatti descritti entrambi come carichi e non attraverso le proprietà degli elementi strutturali propri dei modelli, è necessario applicare manualmente le forze inerziali perché il programma non può farlo automaticamente.



Tra le fasi successive si è proceduto o annullando il carico scaricando la struttura oppure sommando il nuovo carico variabile a quello precedente già agente. Ovviamente le sollecitazioni del singolo carico sono state ottenute come differenza tra la fase precedente e quella successiva.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 7.3. Modello in Straus7

Il modello creato attraverso il software di calcolo Straus7 è monodimensionale ed è realizzato mediante uno schema monofilare agli elementi finiti costituito da elementi tipo "beam" di altezza variabile.

Il calcolo è stato svolto sulla singola trave longitudinale in sezione mista e lo studio dello stato di sollecitazione della trave è stato svolto per fasi costruttive come segue.

Trattandosi, di un sistema misto acciaio-clc, l'analisi le azioni agenti e le verifiche vengono eseguite sulla base di una suddivisione in tre fasi del comportamento dell'impalcato, corrispondenti al grado di maturazione del getto di calcestruzzo e quindi ai diversi livelli di rigidità e caratteristiche statiche delle sezioni.

FASE 1 : Considera il peso proprio della struttura metallica, delle lastre predalles e del getto della soletta che, in questa fase, è ancora inerte. La sezione resistente corrisponde alla sola parte metallica.

FASE 2 : Ai successivi carichi permanenti applicati alla struttura (pavimentazione, barriere, ecc.) corrisponde invece una sezione resistente mista acciaio-calcestruzzo. Per tenere in considerazione i fenomeni "lenti" che accompagnano questa fase, che interagiscono con la viscosità del calcestruzzo, si adotta per il calcestruzzo un valore del modulo elastico effettivo corrispondente a quello ottenuto adottando un coefficiente di viscosità come suggerito dalla normativa, che si traduce, in fase di verifica, a considerare un valore del coefficiente di omogeneizzazione  $n$  pari a 18.

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

Si è inoltre tenuto conto della fessurazione trascurando il contributo del calcestruzzo alla rigidità dell'elemento (ma considerando la presenza dell'armatura lenta) nelle zone adiacenti alla spalla per una lunghezza pari a circa il 15% della luce del ponte da ciascun lato dell'impalcato.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

In questa fase pertanto vengono applicati:

- Ritiro della soletta.

Le molle rotazionali in questo modello schematizzano il comportamento del terreno in condizioni drenate. I valori di tali molle sono stati dedotti da opportune considerazioni fatte sul modello Paratie realizzato e descritto compiutamente come visto.

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 circa 6, per la classe di resistenza del calcestruzzo C32/40 adottata.

In tale fase si tiene inoltre conto degli effetti dovuti alla variazione termica differenziale.

In questa fase pertanto vengono applicati:

- Variazione termica differenziale tra soletta e struttura in acciaio;
- Carico accidentale da traffico.

Per la valutazione degli effetti dei carichi variabili da traffico è stato utilizzato lo strumento per i carichi mobili implementato in Straus7, basato sullo studio delle linee d'influenza, in modo da ottenere direttamente l'involuppo di tutte le sollecitazioni associate al traffico veicolare nelle sezioni di verifica.

La ripartizione trasversale è stata condotta secondo il metodo di impiegato il metodo di Courbon-Albenga.

Si vuole sottolineare che i calcoli sono stati svolti sulla trave dell'impalcato più sollecitata. Nel dettaglio, da considerazioni fatte sull'analisi dei carichi, come si vedrà in seguito in questa relazione, si evince che la trave più caricata per carichi strutturali, permanenti portati e variabili da traffico è quella lato pista ciclabile (trave di sinistra, spalle all'origine).

In ciascuno dei modelli realizzati, oltre che variare i carichi agenti coerentemente con la fase considerata, sono state opportunamente modificate le caratteristiche inerziali dei differenti conci, così da tenere conto correttamente della variazione di rigidità della travata lungo lo sviluppo longitudinale del cavalcavia.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Il primo modello rappresenta il cavalcavia nella fase 1 e dunque le sezioni sono state valutate con  $n=\infty$ . Non essendo stata ancora gettata la soletta, non vi è continuità materiale nel nodo tra impalcato e spalla, di conseguenza l'impalcato è modellato come una semplice trave appoggio-appoggio.

Il secondo modello rappresenta le fasi 2 e 3 e dunque le sezioni sono state valutate rispettivamente con  $n=18$  ed  $n=6$ . Il getto della soletta è avvenuto e trattandosi di un ponte integrale si ha continuità materiale tra la soletta che caratterizza l'impalcato e la spalla. Le parti terminali dell'impalcato sono viste come degli incastri, di conseguenza alla porzione di concio ad essi adiacenti, per una estensione pari a circa il 15% della luce, sono state attribuite le proprietà geometriche fessurate.

Le verifiche vengono effettuate nell'ambito del metodo semiprobabilistico agli stati limite, secondo quanto specificato nelle normative prese a riferimento.

Con riferimento all'intero impalcato vengono effettuate le seguenti verifiche di:

- verifiche di resistenza e stabilità delle travi;
- verifica delle tensioni nel calcestruzzo e nelle barre di armatura della soletta;
- verifica a fatica dei dettagli strutturali;
- verifica della connessione trave-soletta;
- verifica di stabilità flessione-torsionale delle travi;
- verifiche di resistenza e stabilità dei traversi;
- verifica delle giunzioni saldate;
- verifica di deformabilità;
- verifiche locali di dettagli costruttivi (irrigidenti trasversali, irrigidimenti di appoggio, etc.);

Per maggiore chiarezza nel capitolo relativo alle verifiche delle travi si preciseranno in dettaglio le metodologie di verifica impiegate. In generale comunque si precisa che, per quanto riguarda le verifiche di resistenza delle sezioni di impalcato in acciaio-calcestruzzo, la resistenza delle sezioni può essere valutata con il metodo elastico, plastico o elasto-plastico in funzione della classe della sezione stessa: se la sezione risulta appartenere alle classi 1 o 2 ("sezione compatta") è possibile adottare uno qualsiasi dei metodi citati,

Pag. 41/474

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

mentre per le sezioni di classe 3 o 4 (“sezioni snelle”) risulta necessario riferirsi al metodo elastico o tutt'al più a quello elasto-plastico. Nel seguito, pertanto, si eseguirà innanzitutto la classificazione della sezione in esame in funzione del suo reale stato di sollecitazione e si provvederà a valutare la sua capacità resistente secondo il seguente criterio:

Classe 1 o 2: si adotterà il metodo plastico;

Classe 3 o 4: si adotterà il metodo elastico.

Si precisa inoltre che per le sezioni ricadenti in classe 4 verranno valutate le caratteristiche resistenti efficaci ricorrendo al “Hole-in-web method” come richiesto dalle norme EN 1993-1-1.

## 7.3.1. Valori coefficiente di omogeneizzazione

Si determinano i valori dei coefficienti di omogeneizzazione acciaio - calcestruzzo in accordo con i punti con le NTC 08 come evidenziato nel seguito.

La soletta, realizzata in conglomerato cementizio di resistenza caratteristica  $f_{ck}=32$  N/mm<sup>2</sup>, ha modulo elastico istantaneo pari a:

$$E_{cls,0} = 33345 \text{ N/mm}^2$$

Secondo la 11.2.5 delle NTC.

Il coefficiente di omogeneizzazione per azioni di breve durata risulta pertanto:

$$n = E_s / E_{cls,0} = 210000 / 33345 = 6.3$$

**si assume n = 6**

Il coefficiente finale di viscosità per il conglomerato della soletta, sottoposto a maturazione in ambiente con umidità relativa di circa 75% e avente dimensione fittizia  $h_0=2A_c/u \cong 60$  (rapporto tra l'area della sezione della soletta e il perimetro della stessa a contatto con l'atmosfera), risulta:

$$\phi(t^\infty, t_0) = 2$$

in cui è stato assunto  $t_0$ , tempo di applicazione dei carichi permanenti responsabili di effetti viscosi, tra 8 e 60 giorni. Noto il valore del coefficiente di viscosità si ricava il modulo elastico del conglomerato a tempo infinito:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

$$E_{cls, \infty} = E / [1 + \phi(t^{\infty}, t_0)] = 11115 \text{ N/mm}^2$$

Pertanto il coefficiente di omogeneizzazione a tempo infinito risulta:

$$n = E_s / E_{cls, \infty} = 210000 / 11115 = 18.89 \quad \text{si assume } n = 18$$

In sintesi si ha:

$n = \infty$  : reagente solo la trave in acciaio sotto l'azione dei pesi strutturali;

$n = 18$  : reagenti trave e soletta collaborante sotto l'azione di carichi differiti (permanenti portati, ritiro, cedimenti....);

$n = 6$  : reagenti trave e soletta collaborante sotto l'azione di carichi istantanei (carichi accidentali, variazioni termiche, vento....).

## 7.3.2. Soletta collaborante

La larghezza collaborante di soletta da considerare per l'analisi della trave è definita, secondo il punto 4.3.2.3 del D.M. 2018, in funzione dell'interasse delle travi e delle condizioni di vincolamento. La larghezza collaborante per le diverse sezioni di verifica è calcolata come segue:

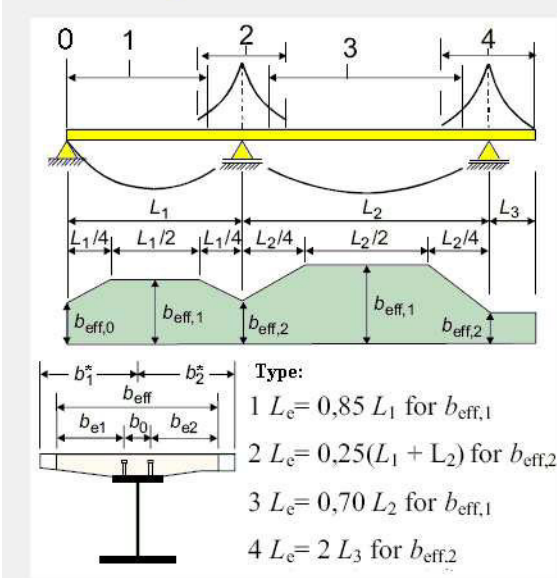
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Ponte stradale:

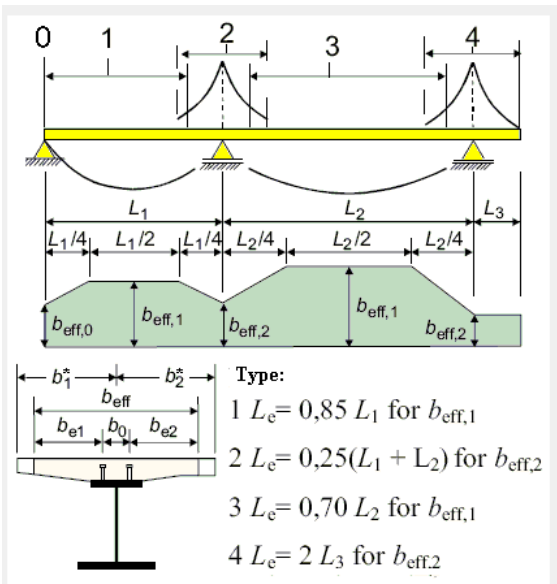
Dati per lo shear lag della soletta e delle flange (EN1994-2 5.4.1.2, EN 1993-1-5 3.2.1)



Elenco luci (m) es. 36,50,60...  -->

X (m)	b1* (mm)	b2* (mm)	b0 (mm)	Tipo	b <sub>eff</sub> (mm)	L <sub>e</sub> (m)	b <sub>e1</sub> (mm)	b <sub>e2</sub> (mm)	beta1	beta2
0	2,000	2,150	400	0	4,150	44,00	1,800	1,950	1,000	1,000
11	2,000	2,150	400	1	4,150	44,00	1,800	1,950	1,000	1,000
33	2,000	2,150	400	1	4,150	44,00	1,800	1,950	1,000	1,000
44	2,000	2,150	400	0	4,150	44,00	1,800	1,950	1,000	1,000

- Passerella pedonale:



Elenco luci (m) es. 36,50,60...  -->

X (m)	b1* (mm)	b2* (mm)	b0 (mm)	Tipo	b <sub>eff</sub> (mm)	L <sub>e</sub> (m)	b <sub>e1</sub> (mm)	b <sub>e2</sub> (mm)	beta1	beta2
0	685	565	400	0	1,250	43,55	485	365	1,000	1,000
9	685	565	400	1	1,250	43,55	485	365	1,000	1,000
17	685	565	400	1	1,250	43,55	485	365	1,000	1,000
22	685	565	400	0	1,250	43,55	485	365	1,000	1,000

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

### 7.3.3. Ripartizione trasversale carichi mobili

La ripartizione trasversale dei carichi accidentali è stata operata secondo la teoria di Courbon-Albenga. Per una posizione eccentrica dei carichi si avrà una rotazione rigida della sezione trasversale dell'impalcato che comporterà un aumento delle sollecitazioni nella trave longitudinale posta dalla parte dell'eccentricità stessa, in accordo con quanto indicato al capitolo 6. Il carico sulla trave i-esima dovuto ad una colonna di carico posta ad eccentricità e dal centro dell'impalcato, sarà valutato secondo la seguente relazione.

$$P_i = P \cdot \frac{1}{n} + \frac{e \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n d_i^2}$$

Dove:

- $P_i$ = Porzione di carico accidentale sulla trave considerata
- $n$ = numero di travi
- $e$  = eccentricità del carico rispetto a centro dell'impalcato
- $d_i$ = distanza della trave i-esima dal centro dell'impalcato

Si riportano di seguito le ripartizioni trasversali dei carichi da traffico per il ponte stradale. Per il ponte pedonale si è considerato una folla compatta corrispondente ad un carico distribuito di 5 kPa su tutta la larghezza trasversale dell'impalcato.

#### 7.3.3.1. Ripartizione per Schema di carico 1

Per valutare tali effetti si operano considerazioni d'equilibrio sulla sezione trasversale, per la quale è stata riportata nella seguente figura la posizione delle colonne di carico agenti e la rispettiva risultante.

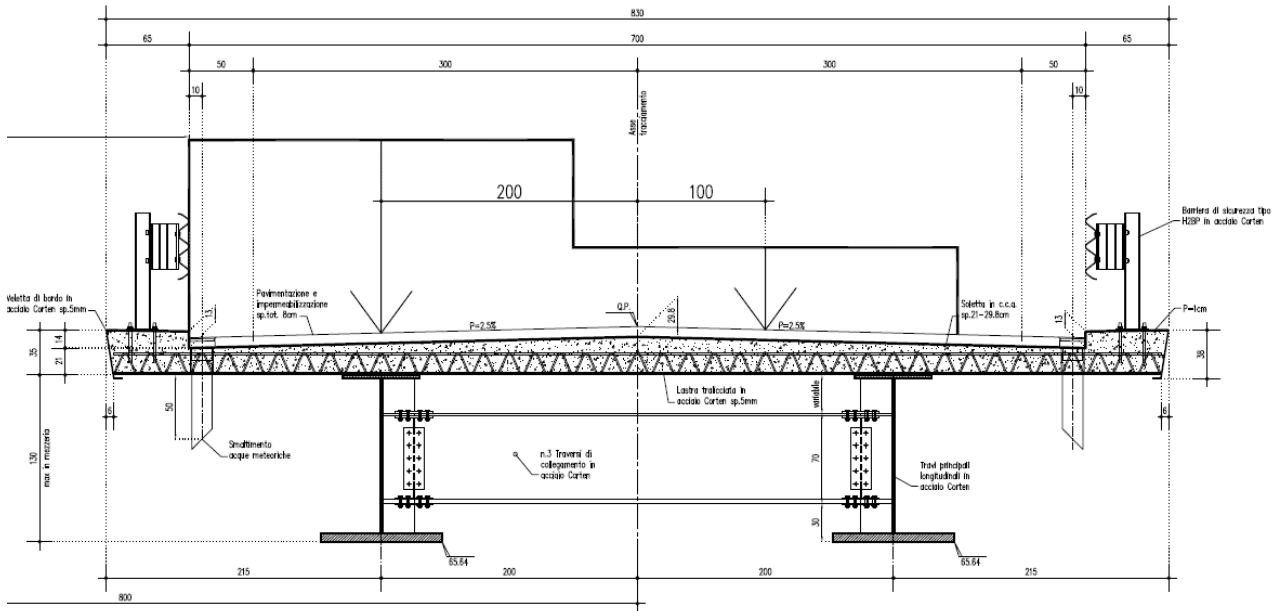
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## SEZIONE TRASVERSALE TIPO IMPALCATI 1:25

### PONTE STRADALE



Con questo schema di carico viene sollecitata maggiormente la trave di sinistra. La prima colonna di carico è posizionata sulla parte destra della carreggiata.

Indicando con  $\rho_1 = \frac{1}{n} + \frac{e \cdot d_1}{d_1^2 + d_2^2}$  il coefficiente di ripartizione trasversale per la trave di riva, si

ottiene:

- Carichi distribuiti:

N°Travi	2	APPOGGIO ESISTENTE	Carico_F	27 kN	Carico_F	7.5 kN	Carico_F	0 kN
			eccentricità	-2 m	eccentricità	1 m	eccentricità	2 m
d_trave 1	-2 m	SI	k1	1.0000	27.00	k1	0.2500	1.88
d_trave 2	2 m	SI	k2	0.0000	0.00	k2	0.7500	5.63
							k1	0.0000
							k2	1.0000
								0.00
								0.00

$q_{tot} = 28.88$  kN/m a trave

- Carichi tandem:

N°Travi	2	APPOGGIO ESISTENTE	Carico_F	300 kN	Carico_F	200 kN	Carico_F	0 kN
			eccentricità	-2 m	eccentricità	1 m	eccentricità	1.15 m
d_trave 1	-2 m	SI	k1	1.0000	300.00	k1	0.2500	50.00
d_trave 2	2 m	SI	k2	0.0000	0.00	k2	0.7500	150.00
							k1	0.2125
							k2	0.7875
								0.00
								0.00

$Q_{tot} = 350$  kN a trave

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

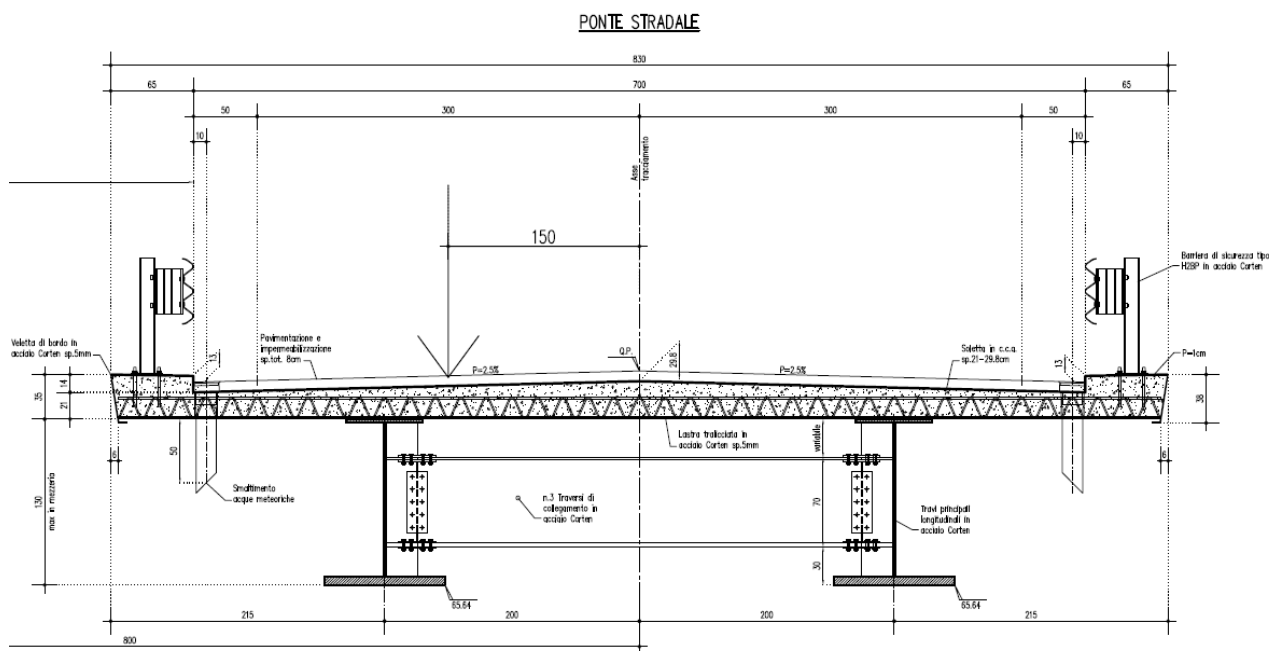
## 7.3.3.2. Ripartizione trasversale per lo schema di carico a fatica 1

In accordo con il capitolo 5 della normativa NTC2018, le verifiche devono essere condotte considerando spettri di carico differenziati a seconda che si conduca una verifica per vita illimitata o una verifica a danneggiamento.

Applicando le formule descritte in precedenza per il modello di fatica FML3 costituito dalle impronte di carico previste dalla normativa applicate sulla corsia fisica, si ottiene il relativo coefficiente di ripartizione trasversale.

Si ipotizza, per questo schema di carico, il treno di carico centrato nella corsia di sinistra:

**SEZIONE TRASVERSALE TIPO IMPALCATI 1:25**



Si ottiene:

N°Travi	<b>2</b>		APPOGGIO ESISTENTE	Carico_F	<b>120</b>	kN
				eccentricità	<b>-1.5</b>	m
d_trave 1	<b>-2</b>	m	<b>SI</b>	k1	<b>0.8750</b>	<b>105.00</b>
d_trave 2	<b>2</b>	m	<b>SI</b>	k2	<b>0.1250</b>	<b>15.00</b>

Q<sub>FLM03</sub> = 105 kN a trave.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 8. CRITERI DI CALCOLO

### 8.1. Criteri di definizione delle azioni di calcolo

In ottemperanza al D.M. del 17.01.2018 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

I carichi considerati nelle verifiche sono nominati, come suggerito dalla norma, con la nomenclatura di seguito riportata

- g1 Peso proprio degli elementi strutturali
- g2 Peso proprio dei carichi permanenti portati (pavimentazioni, parapetti ecc...)
- g3 Altre azioni permanenti
- ε1 Distorsioni e presollecitazioni di progetto
- ε2 Ritiro e Viscosità
- ε3 Variazioni termiche
- ε4 Cedimenti vincolari
- q1 Carichi variabili da traffico
- q2 Incremento dinamico addizionale in presenza di discontinuità
- q3 Azione longitudinale di frenamento o accelerazione
- q4 Azione centrifuga
- q5 Azioni di Neve e Vento
- q6 Azioni Sismiche
- q7 Resistenze passive dei vincoli
- q8 Urto di veicolo in svio

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le combinazioni di carico sono state determinate in riferimento al par. 5.1.3.14 e 2.5.3 del D.M. 17/01/2018 e di seguito riportate:

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

$$\sum_{i=1}^3 \gamma_{g_i} \cdot g_i + \sum_{i=1}^4 \gamma_{\varepsilon_i} \cdot \varepsilon_i + \gamma_Q \cdot q_1 + \sum_{i=2}^7 \gamma_{q_i} \cdot \psi_{0i} \cdot q_i$$

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

$$\sum_{i=1}^3 g_i + \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i + q_1 + \sum_{i=2}^7 \psi_{0i} \cdot q_i$$

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

$$\sum_{i=1}^3 g_i + \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i + \psi_{11} \cdot q_1 + \sum_{i=2}^7 \psi_{2i} \cdot q_i$$

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

$$\sum_{i=1}^3 g_i + \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i + \sum_{i=2}^7 \psi_{2i} \cdot q_i$$

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

$$E + \sum_{i=1}^3 g_i + \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i + \sum_{i=2}^7 \psi_{2i} \cdot q_i$$

– **Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi agli urti ed altre azioni eccezionali

$$\sum_{i=1}^3 g_i + \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i + q_{8/9} + \sum_{i=2}^7 \psi_{2i} \cdot q_i$$

Nelle quali:

Le azioni eccezionali connesse agli urti sono prese singolarmente per ogni combinazione.

L'azione sismica verticale non è significativa nel dimensionamento dell'impalcato in quanto non contemporanea al traffico.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

I coefficienti di combinazione considerati nel calcolo sono di seguito riportati.

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

Tabella dei coefficienti parziali per i ponti.

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequent)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanent)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Vento $q_s$	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve $q_s$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

Tabella dei coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 8.2. Criteri e definizione dell'azione sismica

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, i cui requisiti di sicurezza sono indicati nel § 7.1 della norma.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli Stati Limite di Esercizio siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno;
- nei confronti degli Stati Limite Ultimi siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel § 7 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Per Stato Limite di Danno (SLD) s'intende che l'opera, nel suo complesso, a seguito del terremoto, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non provocare rischi agli utenti e non compromette significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali.

Per Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) si intende che l'opera a seguito del terremoto subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni di componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidità) nei confronti delle azioni verticali.

Gli stati limite, sia di Esercizio sia Ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Il livello di protezione richiesto per la sottostruttura nei confronti dello SLD è da ritenere conseguito se sono soddisfatte le relative verifiche allo SLV.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 8.2.1. Definizione dei parametri di caratterizzazione sismica

Ai sensi del D.M. 17/02/2018 si esegue la determinazione dei parametri sismici che caratterizzano il sito di riferimento. I dati sismici del sito di costruzione, di seguito riportati, sono relativi alla sismicità propria del sito di ubicazione.

I parametri di vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento, vengono determinati conformemente a quanto previsto nel paragrafo 2.4 delle NTC 2018 e sulla base delle caratteristiche dell'opera progettata.

Trattandosi di un ponte di importanza strategica, si assume quale valore di vita nominale  $V_N=100$ anni.

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera si colloca in Classe d'uso II. Alla suddetta classe d'uso è associato un valore del coefficiente d'uso  $C_U=1,0$ .

Si determina quindi il periodo di riferimento per l'azione sismica:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

La classificazione del terreno di fondazione è determinata sulla base delle risultanze della relazione geotecnica allegata alla documentazione.

Le condizioni topografiche del sito, come dichiarato in relazione geotecnica, sono riconducibili a quelle della categoria T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ). La normativa vigente associa alla suddetta categoria un coefficiente di amplificazione topografica  $ST=1$ .

Nella tabella seguente si riassumono i dati di base di caratterizzazione sismica:

Vita nominale ( $V_N$ )	50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso ( $C_U$ )	1.0
Periodo di riferimento ( $V_R$ )	50 anni
Categoria topografica	T1
Terreno	C

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

I valori dei parametri sismici, caratterizzanti la sismicità del sito, sono costituiti da:

- accelerazione orizzontale massima al suolo ( $a_g$ );
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale ( $F_0$ );
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale ( $T_C^*$ ).

I dati relativi alle caratteristiche spettrali, per il sito oggetto del presente progetto, sono i seguenti:

## Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.161 g
$F_0$	2.368
$T_C$	0.291 s
$S_S$	1.471
$C_C$	1.579
$S_T$	1.000
$q$	1.000

## Parametri dipendenti

S	1.471
$\eta$	1.000
$T_B$	0.153 s
$T_C$	0.459 s
$T_D$	2.245 s

Facendo riferimento all'indagine di sismica, il terreno risulta di categoria C.

$$a_{\max}(\text{SLV}) = 0.161 \times 1.471 = 0.237g$$

In realtà, come si evince dalla relazione geologica a disposizione, a valle di una analisi di Risposta Sismica Locale si è rideterminato il valore di  $a_{\max}$  che risulta:

$$a_{\max}(\text{SLV}) = 0.258g$$

Essendo il periodo della struttura pari a  $T=0$  in quanto in moto con il terreno a tergo in quanto le spalle quasi totalmente interrato, non ha senso per questo genere di strutture parlare di fattore di comportamento utile ad abbattere lo spettro per periodi  $T>0$ .

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 8.2.2. Analisi sismica spalle

Con riferimento al § 7.9.2 NCT2019, le spalle rientrano tra le opere alle quali non è richiesta capacità dissipativa. Si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica il comportamento elastico (fattore di struttura assunto unitario). Queste strutture, muovendosi con il terreno, non subiscono le amplificazioni dell'accelerazione del suolo: le forze di inerzia di progetto possono pertanto essere determinate considerando un'accelerazione pari ad  $a_g \cdot S$  (§ 7.9.5.6.2 NTC2019).

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici di seguito definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso in quanto di pertinenza, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

Il calcolo dell'azione sismica verticale e dell'azione sismica orizzontale dovuta alla massa inerziale attinente alla struttura della spalla ed al terreno imbarcato viene eseguito con analisi pseudostatica (NTC § 7.11.6) mediante metodi di equilibrio limite. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo i valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} \qquad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove:

- $a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $g$  accelerazione di gravità;

L'accelerazione massima è valutata mediante la seguente relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

Essendo la spalla una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$ , assume valore unitario (NTC § 7.11.6.2.1).

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Le spinte delle terre, per quanto riguarda i muri di risvolto, e quindi in direzione trasversale al ponte, sono calcolate in regime di spinta attiva, condizione che comporta il calcolo delle spinte in condizione sismica con la formula di Mononobe-Okabe:

$$\Delta P_d = 1/2 \cdot S \cdot (1 + k_v) \cdot (K - k_a) \cdot g \cdot h_{tot}^2$$

Il punto di applicazione della sovraspinta che interessa la spalla sui muri di risvolto è posto  $h/2$ .

In direzione longitudinale invece, il contributo dato dall'azione sismica, è tenuto in conto con l'ausilio del programma di calcolo Paratie. In esso è infatti implementata un'analisi pseudo-statica dipendente solamente dall'accelerazione massima, che restituisce direttamente le sollecitazioni elementari dovute all'azione sismica sugli elementi strutturali della struttura. Quanto detto è riportato nel capitolo 6 relativo all'analisi su ParatiePlus.

### 8.3. Spinta delle terre

In condizioni statiche, la spinta del terreno viene valutata in regime di spinta a riposo. Le caratteristiche geomeccaniche assunte per il terreno utilizzato per il terrapieno della spalla sono valutate in uniformità a quanto previsto dal capitolato d'appalto in materia di materiale da rilevato e riportati in sede di analisi della struttura, quali dati di base nella definizione delle azioni di spinta delle terre.

L'andamento delle tensioni orizzontali efficaci assume forma triangolare con valore massimo alla base:

$$\sigma = K \gamma H \quad [\text{kN/m}^2]$$

La risultante di spinta statica è pari a:

$$S_{stat} = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot k \quad [\text{kN/ m}]$$

La spinta così calcolata è applicata ad una distanza a partire dalla base della fondazione pari ad  $H/3$ .

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

In condizioni statiche si considera un sovraccarico accidentale pari a  $q_{es}=25.00 \text{ kN/m}^2$  per il ponte stradale e  $q_{es}=5.00 \text{ kN/m}^2$  per il ponte pedonale.

Il diagramma delle tensioni orizzontali che ne scaturiscono ha andamento costante con modulo pari a:

$$\sigma_q = q_{es} * k \quad [\text{kN/m}^2]$$

La risultante di spinta è pari a:

$$S_q = q_{es} * H * k \quad [\text{kN/ m}]$$

La risultante di spinta è applicata a 1/2 dell'altezza dalla base.

Le considerazioni appena viste valgono per la modellazione realizzata con il modello unifilare di Straus7. Il calcolo delle spinte del terreno sul modello ParatiePlus è invece effettuato direttamente dal software.

## 8.4. Criteri di definizione delle resistenze di calcolo

Le resistenze di calcolo adottate per le verifiche strutturali sono definite come segue:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

In cui:

$f_d$  : Resistenza di calcolo

$f_k$  : Resistenza caratteristica

$\gamma_m$ : coefficiente parziale del materiale

I coefficienti parziali dei materiali adottati, conformi con le NTC 18 sono riportati nella seguente tabella:

Carpenteria metallica	Resistenza delle sezioni	$\gamma_{M0}$	1.05
	Resistenza all'instabilità	$\gamma_{M1}$	1.10
	Resistenza alla rottura	$\gamma_{M2}$	1.25
	Resistenza dei pioli	$\gamma_v$	1.25
	Resistenza alla fatica	$\gamma_f$	1.35
	Resistenza a scorrimento SLE delle bullonature	$\gamma_{M3}$	1.10

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Cemento armato	Resistenza del conglomerato	$\gamma_c$	1.50
	Resistenza dell'armatura	$\gamma_s$	1.15

La resistenza del conglomerato è valutata prendendo in conto il coefficiente riduttivo della resistenza per fenomeni di lunga durata  $\alpha_{cc}=0.85$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 9. CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono state svolte in accordo con le NTC-08 cap. 4.2, 4.3 e relative istruzioni nonché con quanto contenuto nei seguenti Eurocodici:

EN 1993-1-1, EN1993-1-5, EN 1993-2, EN1994-1-1, EN 1994-2.

Nell'ambito dei vari stati limite considerati si effettuano, a livello sezionale, le seguenti verifiche:

- Verifiche di resistenza flessionale SLU della trave composta
  - Verifica Plastica (quando applicabile)
  - Verifica tensionale (quando non applicabile la verifica plastica)
- Verifica di resistenza al taglio SLU
  - Verifica Plastica
  - Shear Buckling
  - Controllo intenzione Taglio-Flessione
- Verifiche di controllo tensionale SLE
- Verifica delle connessioni trave-soletta (piolature) SLU e SLE
- Stabilità dei pannelli d'anima in esercizio (web breathing)
- Verifiche di fatica

Il complesso delle precedenti verifiche viene effettuato in automatico dal programma "Ponti EC4" per tutte le sezioni significative del ponte. Nel seguito vengono espone in dettaglio i criteri di verifica adottati.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 9.1. S.L.U. – RESISTENZA SEZIONI

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 sotto componenti.

### - Analisi plastica

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

### - Classificazione effettiva della sezione

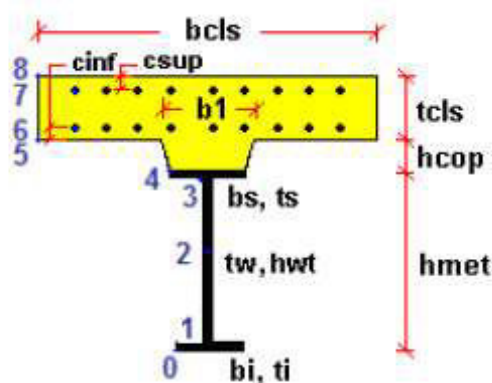
Effettuata sulla base dell'effettivo valore di  $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$  per la combinazione in esame

### - Verifica a plastica a pressoflessione (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. 3-4)

valutazione del massimo rapporto di sfruttamento elastico  $\eta_1$ , effettuata rispettivamente per le sezioni in classe 3 e 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'asse neutro. Le tensioni vengono valutate in corrispondenza delle 8 fibre indicate nello schema seguente.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Nell'ambito del calcolo tensionale, la soletta viene considerata fessurata (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, ed 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  $\chi_w$ , e successivamente valutato il taglio resistente  $V_{b,Rd}$  come somma dei contributo resistenti dell'anima  $V_{bw,Rd}$  e, se applicabile, delle flange  $V_{bf,Rd}$ , secondo la procedura indicata nell' EN1993-1-5.

## - 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 e 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 ad 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 e 4, è l'utilizzo sistematico del rapporto di sfruttamento elastico  $\eta_1$  in luogo di quello plastico  $\bar{\eta}_1$ , 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 risulta interamente in compressione). Inoltre, in EN 1993-1-5 7.1 (2) è indicato che la verifica deve essere effettuata a distanza maggiore di  $h_w/2$  dalla sezione di appoggio.

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:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

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

$M_{f,Rd} = M_{f(N),Rd}$  (sezione costituita dalle sole flange)

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 e 4, il momento di progetto  $M_{Ed}$  viene valutato sulla base degli stress cumulati nella fibra più sollecitata ( $M_{Ed,eq} = \max | W_{xi} * \Sigma \sigma_{x,i} |$ ).

## 9.2. S.L.E. – LIMITAZIONE TENSIONI

La verifica viene condotta puntualmente, sulla sezione omogenizzata, con riferimento alle tensioni di Von Mises valutate sotto la combinazione fondamentale S.L.E. rara.

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{y,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{m,ser})^2$$

dove:

$\sigma_{x,Ed}$  è il valore di calcolo della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione parallela all'asse della membratura;

$\sigma_{z,Ed}$  è il valore di calcolo della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione ortogonale all'asse della membratura;

$\tau_{Ed}$  è il valore di calcolo della tensione tangenziale nel punto in esame, agente nel piano della sezione della membratura.

$\gamma_{m,ser} = 1.0$  è il coefficiente da applicare al materiale in condizioni di esercizio secondo le EN 1993-2 e EN 1994-2.

I punti di verifica in cui sono valutate le tensioni sono sempre gli stessi della figura precedente.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 9.3. S.L.E. – WEB BREATHING

La verifica è volta alla limitazione della snellezza dei singoli pannelli e sotto pannelli. I criteri di verifica sono contenuti nelle istruzioni a NTC-08, 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. Tale metodo consistente nel confronto del quadro tensionale indotto dalla combinazione S.L.E. frequente e rappresentato da  $\sigma_{x,Ed,ser}$  e  $\tau_{xy,Ed,ser}$ , con le tensioni normali e tangenziali critiche del pannello. Si applica pertanto la relazione (cfr.1993-2 cap. 7.4.(3)):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_{\sigma}\sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1.1 \cdot \tau_{xy,Ed,ser}}{k_{\tau}\sigma_E}\right)^2} \leq 1.1$$

In cui:

$\sigma_E$  è 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  $\xi$ , seguendo i criteri contenuti in EN 1993-1-5 - 4.5.4.(1).

$k_{\sigma}, k_{\tau}$  sono i coefficienti di imbozzamento per tensioni normali e per taglio, funzione della geometria e dello 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.

## 9.4. S.L.U. e S.L.E. – VERIFICA CONNESSIONI TRAVE SOLETTA

Le piolature adottate sono tutte a completo ripristino di resistenza. I dettagli adottati per la connessione trave-soletta sono conformi alle NTC-18 paragrafo 4.3.4.1.2 e C.4.3.4 delle relative istruzioni.

Il ciclo di verifica delle piolature comprende i seguenti passi:

**- Verifica tensionale elastica SLU e SLE**

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

La verifica tensionale elastica viene condotta mediante la deduzione del massimo scorrimento "elastico" a taglio sul singolo piolo secondo la condizione di carico analizzata (SLU o SLE). Lo scorrimento unitario è calcolato come segue:

$$v_{ED} = \frac{V \cdot S}{J}$$

In cui S e J sono univocamente definite sulla base delle caratteristiche non fessurate.

Quindi si fa il confronto con la portanza del piolo valutata come:

$$P_{RD}^1 = \frac{0.8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v}$$

$$P_{RD}^2 = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v}$$

$$\alpha = 0.2 \cdot \left( \frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{per } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per } \frac{h_{sc}}{d} > 4$$

$$P_{RD} = \min(P_{RD}^1, P_{RD}^2)$$

La verifica sarà quindi condotta come segue:

$$v_{ED} \leq n \cdot P_{RD} \quad \text{S.L.U. (combinazione fondamentale)}$$

$$v_{ED} \leq K_s \cdot n \cdot P_{RD} \quad \text{S.L.E. (combinazione caratteristica)}$$

$K_s$  è un coefficiente riduttivo per lo S.L.E. assunto pari a 0.6

$n$  è il numero di pioli per unità di lunghezza considerata.

## - Verifica concentrazione scorrimenti per effetto del ritiro e della variazione termica nelle zone di estremità trave

L'ammontare delle azioni di scorrimento per ritiro e variazione termica nelle zone di coda viene calcolato a partire dall'azione assiale indotta dalle relative deformazioni impresse nella soletta (ritiro e  $\Delta T$ ), assumendo una distribuzione costante del flusso per una lunghezza di trave assunta pari alla larghezza di soletta efficace ( $b_{eff}$ ).

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

$$V_{L,ED,max} = \frac{V_{L,ED}}{b_{eff}}$$
$$n_{pioli} = \frac{V_{L,ED,max}}{P_{RD}}$$

$n_{pioli}$  è il numero di pioli da inserire per una lunghezza  $b_{eff}$  a partire dalla testata della trave.

## 9.5. S.L.F. – VERIFICA A FATICA

Le verifiche a fatica vengono effettuate con l'impiego del metodo dei coefficienti  $\lambda$ , associato all'impiego del veicolo a fatica FLM3 (istruzioni NTC-08, cap. 4.2.4.1.4.6.3., ovvero EN 1993-2 cap. 9).

In sintesi, il metodo consente di valutare l'oscillazione di sforzo in un dato dettaglio strutturale sulla base del transito di uno specifico modello di carico (FLM3). L'azione oscillante del singolo automezzo, opportunamente calibrata mediante l'applicazione dei fattori equivalenti di danno, fornisce l'impatto del traffico reale sul dettaglio considerato.

Si ha pertanto:

$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}|$  escursione tensionale, valutata in combinazione di progetto a fatica.

$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \Phi_2 \Delta\sigma_p$  ampiezza equivalente allo spettro di danneggiamento per  $2e6$  cicli

con:

$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4$  fattore equivalente di danno

$\Phi_2$  fattore di amplificazione dinamica (impatto)

Verifica a fatica:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} \leq \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$$

In ottemperanza alla norma e nell'ottica del concetto di vita illimitata si pone:

$$\gamma_{Ff} = 1$$

$\gamma_{Mf} = 1.35$  alta conseguenza a seguito della rottura del dettaglio

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\gamma_{Mf} = 1.15$  bassa conseguenza a seguito della rottura del dettaglio (dettagli secondari)

## 9.5.1. Coefficienti $\lambda$

Il valore dei coefficienti  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  viene determinato secondo quanto previsto in EN 1993-2 cap. 9 e EN 1994-2 § 6.8.6.2 rispettivamente per i dettagli di carpenteria e per le piolature (in quest'ultimo caso i coefficienti  $\lambda$  verranno indicati con il pedice aggiuntivo "v"). Per l'individuazione delle caratteristiche distintive la tipologia di traffico ed il modello di carico, si fa riferimento alla tabella seguente, tratta da NTC-08 § 5.1.4.3. La strada ospitata dalla struttura in esame viene assunta di categoria 4.

Tabella 5.1.X – Flusso annuo di veicoli pesanti sulla corsia lenta

Categorie di traffico	Flusso annuo di veicoli di peso superiore a 100 kN sulla corsia lenta
1 - Strade ed autostrade con 2 o più corsie per senso di marcia, caratterizzate da intenso traffico pesante	$2,0 \times 10^6$
2 - Strade ed autostrade caratterizzate da traffico pesante di media intensità	$0,5 \times 10^6$
3 - Strade principali caratterizzate da traffico pesante di modesta intensità	$0,125 \times 10^6$
4 - Strade locali caratterizzate da traffico pesante di intensità molto ridotta	$0,05 \times 10^6$

### - Coefficiente $\lambda_1 - \lambda_{v1}$

Il coefficiente  $\lambda_1$  dipende dalla lunghezza e tipologia della linea di influenza.

Per la verifica dei dettagli di carpenteria (connettori esclusi), viene dedotto dai grafici di seguito riportati, rispettivamente per la zona di centro campata e per la zona in prossimità degli appoggi interni, con riferimento alla luce  $L$  calcolata secondo lo schema di cui alla EN 1993-2 cap. 9.5.2.(2).

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\lambda_1$ , 9.5.2 (2) EN 1993-2, 2006(E)

			Bending moment	Shear force
at midspan		$2.55 - 0.7 (L-10) / 70$	$L = \text{length of span under consideration}$	$L = 0.4 * \text{span under consideration}$
at support	$L < 30 \text{ m}$	$2.00 - 0.3 (L-10) / 20$	$L = \text{the mean of two adjacent spans}$	$L = \text{length of span under consideration}$
	$L \geq 30 \text{ m}$	$1.70 + 0.5 (L-30) / 50$		

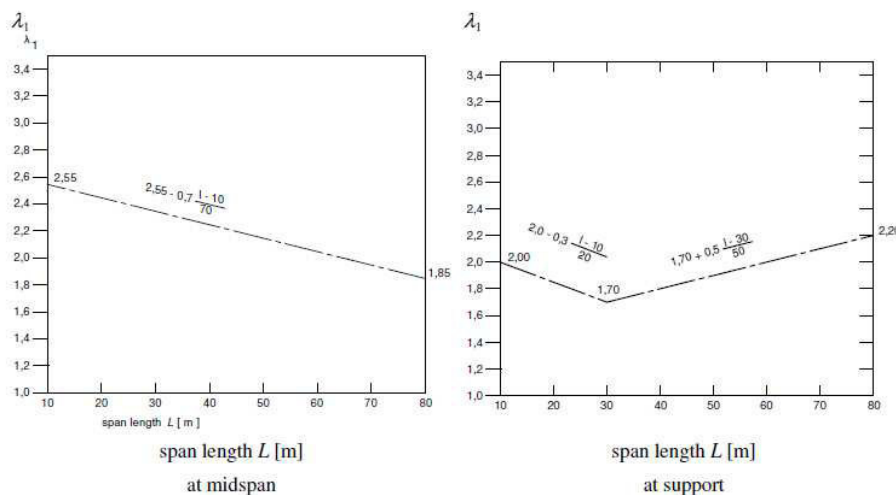


Figure 9.5:  $\lambda_1$  for moments for road bridges

Per la verifica del sistema di connessione (pioli), con riferimento a EN 1994-2, cap. 6.8.6.2(4), si ha invece (valore valido per tutte le sezioni):

$$\lambda_1 = \lambda_{v1} = 1.55$$

- **Coefficiente  $\lambda_2$  -  $\lambda_{v2}$**

Il coefficiente  $\lambda_2$  dipende dalla tipologia e dal volume di traffico.

Per la valutazione dei dettagli di carpenteria, si fa riferimento a EN 1993-2 § 9.5.2.(3). il coefficiente  $\lambda_2$  viene determinato in funzione del flusso atteso di veicoli pesanti ( $N_{Obs}$ ), e dal peso medio degli stessi  $Q_{m1}$ , tramite la relazione (\*):

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left( \frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5}$$

Con:

$N_{Obs} = 1.25e5$

flusso medio veicoli pesanti/anno (strada cat 2 - cfr. tab.

prec.)

$N_0 = 0.5e6$

flusso di riferimento



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$Q_{m1}$  peso medio dei veicoli, dedotto secondo la composizione di traffico dei veicoli frequenti per la tipologia di strada considerata, e valutato secondo la seguente relazione:

$$Q_{m1} = \left( \frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5}$$

Per i valori di  $Q_i$  e  $n_i$  si adotta la tabella 4.7 di EN 1991-2 cap. 4.6.5.(1), equivalente alla tabella contenuta in NTC-18 cap. 5, e di seguito riportati.

**Fattore equivalente di danno LAMBDA2 per ponti stradali** - □ ×

**Calcolo**

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left( \frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5} \quad Q_{m1} = \left( \frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5}$$

$$\lambda_{v2} = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left( \frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/8} \quad Q_{m1} = \left( \frac{\sum n_i Q_i^8}{\sum n_i} \right)^{1/8}$$

**$\lambda_2 = 0.643$        $\lambda_{v2} = 0.753$**

$Q_0 = 480 \text{ kN}$  (peso dell'FML3)  
 $N_0 = 0.5E6$   
 $N_{Obs} = 1.25E+5$  (Cfr. Tab. 4.5)  
 $Q_{m1} = 407 \text{ kN}$  (Cfr. Tab. 4.7)  
 $Q_{m1v} = 430.1 \text{ kN}$  (Cfr. Tab. 4.7)

**Numero di osservazioni**

**Table 4.5(n) - Indicative number of heavy vehicles expected per year and per slow lane. EN 1991-2:2003 (E)**

Traffic categories		$N_{Obs}$ per year and per slow lane
<input type="radio"/>	1 Roads and motorways with 2 or more lanes per direction with high flow rates of lorries	$2,0 \times 10^6$
<input type="radio"/>	2 Roads and motorways with medium flow rates of lorries	$0,5 \times 10^6$
<input checked="" type="radio"/>	3 Main roads with low flow rates of lorries	$0,125 \times 10^6$
<input type="radio"/>	4 Local roads with low flow rates of lorries	$0,05 \times 10^6$
<input type="radio"/>	User	<input style="width: 50px;" type="text"/>

**Distribuzioni del carico pesante**

**Table 4.7 - Set of equivalent lorries. EN 1991-2:2003 (E)**

	$Q_1 = 200 \text{ kN}$	$Q_2 = 310 \text{ kN}$	$Q_3 = 490 \text{ kN}$	$Q_4 = 390 \text{ kN}$	$Q_5 = 450 \text{ kN}$	
<input type="radio"/>	20%	5%	50%	15%	10%	<b>Long distance</b>
<input checked="" type="radio"/>	40%	10%	30%	15%	5%	<b>Medium distance</b>
<input type="radio"/>	80%	5%	5%	5%	5%	<b>Local traffic</b>
<input type="radio"/>	<input style="width: 30px;" type="text"/> %	<input style="width: 30px;" type="text"/> %	<input style="width: 30px;" type="text"/> %	<input style="width: 30px;" type="text"/> %	<input style="width: 30px;" type="text"/> %	<b>User</b> <input type="button" value="Calcola"/>

Per la verifica dei connettori, si adotta quanto previsto in EN 1994-2 6.8.6.2.(4), sostituendo l'esponente 1/5 con 1/8 nelle relazioni precedentemente esposte.

- **coefficiente  $\lambda_3$  -  $\lambda_{v3}$**

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Il coefficiente  $\lambda_3$  dipende dalla vita di progetto della struttura.

Per i dettagli di carpenteria, con riferimento a EN 1993-2 §9.5.2.(5), mediante la relazione:

$$\lambda_3 = \left( \frac{t_{Ld}}{100} \right)^{1/5}$$

dove  $t_{Ld}$  è vita di progetto prevista.

Si ottengono pertanto i valori tabellari indicati di seguito.

Table 9.2:  $\lambda_3$

Design life in years	50	60	70	80	90	100	120
Factor $\lambda_3$	0,871	0,903	0,931	0,956	0,979	1,00	1,037

Per la verifica dei connettori si opera la sostituzione dell'esponente 1/5 con 1/8 come nel caso precedente.

## - coefficiente $\lambda_4$ - $\lambda_{v4}$

Il coefficiente  $\lambda_4$  dipende dall'organizzazione delle corsie di carico in direzione trasversale e dalla loro posizione relativa sulla linea di influenza trasversale di ciascuna trave.

La formulazione, tratta da EN 1993-2 § 9.5.3.(6), prevede:

$$\lambda_4 = \left[ 1 + \frac{N_2}{N_1} \left( \frac{\eta_2 Q_{m2}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 + \frac{N_3}{N_1} \left( \frac{\eta_3 Q_{m3}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 + \dots + \frac{N_k}{N_1} \left( \frac{\eta_k Q_{mk}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 \right]^{1/5}$$

Nel caso in esame si ha:

$e$  = eccentricità FLM3 rispetto all'asse dell'impalcato

$b$  = interasse fra le travi principali

$$\eta_1 = 1/2 + e/b$$

$$\eta_2 = 1/2 - e/b$$

$$N_1 = N_2 \text{ e } Q_{m1} = Q_{m2}$$

$\lambda_4 = 1.15$  per i dettagli di carpenteria

$\lambda_4 = 1.12$  per i connettori

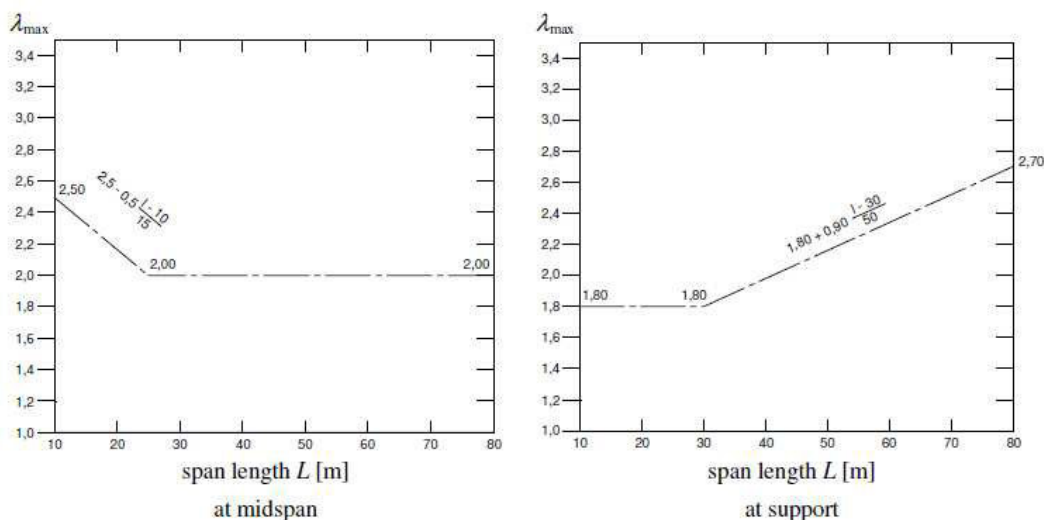
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## - Coefficiente $\lambda - \lambda_v$

Il fattore equivalente di danno (per il momento flettente) è limitato superiormente dal fattore  $\lambda_{max}$ , da valutarsi secondo quanto previsto in EN 1993-2 §9.5.2.(7) in funzione della posizione della sezione verificata e della luce del ponte, con riferimento ai grafici estratti dalla norma, riportati di seguito.



## 9.5.2. Dettagli a fatica

Per la verifica a fatica dei **dettagli di carpenteria**, si prendono in esame i dettagli di seguito elencati unitamente alla categoria/num. dettaglio dedotti dalle rispettive tabelle di EN 1993-1-9:

Piattabanda sup. - tensioni normali	categoria/dettaglio:	125/5	tab.8.1 EN 1993-1-9
Piattabanda inf. - tensioni normali	categoria/dettaglio:	125/5	tab.8.1 EN 1993-1-9
Anima - tensioni tangenziali	categoria/dettaglio:	100/6 (5)	tab.8.1 EN 1993-1-9
Giunz. di testa piattabande (1)	categoria/dettaglio:	90/7 (*)	tab.8.3 EN 1993-1-9
Giunz. di testa piattabande (2)	categoria/dettaglio:	112/1 (*)	tab.8.3 EN 1993-1-9
Giunz. di testa anime (1)	categoria/dettaglio:	90/7 (*)	tab.8.3 EN 1993-1-9
Giunz. di testa anime (2)	categoria/dettaglio:	112/1 (*)	tab.8.3 EN 1993-1-9

## INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento	Relazione di calcolo strutturale		
-----------	----------------------------------	--	--

Saldatura comp. anima-piatt.	categoria/dettaglio:	125/1	tab.8.2 EN 1993-1-9
Attacco irr. vert. - piattabande	categoria/dettaglio:	80/6(**)	tab.8.4 EN 1993-1-9
Attacco irr. vert. - anima	categoria/dettaglio:	80/7(**)	tab.8.4 EN 1993-1-9

per giunzioni fra piatti di spessore diverso

per giunzioni fra piatti di spessore uguale

(\*) si conteggia il size effect  $k_s = (25/t)^{0.2}$

(\*\*)  $t < 50$  mm in tutti i casi

Per la verifica a fatica delle **piolature** si seguono i criteri generali contenuti in EN 1994-2. Vengono presi in esame i seguenti dettagli (EN 1993-1-9- cap. 8.):

Saldatura piolo - rottura piatt.	categoria/dettaglio:	80/9 (*)	tab.8.4
EN 1993-1-9			

Saldatura piolo - rottura piolo	categoria/dettaglio:	90/10	tab.8.5 EN 1993-1-9
---------------------------------	----------------------	-------	---------------------

Il ciclo di verifica segue quanto previsto in EN 1994-2 cap. 6.8.7.2.(2), comprendendo la verifica separata per rottura del piolo e per rottura della piattabanda.

Per le piattabande in tensione si tiene conto dell'interazione dei due fenomeni, sfruttando la relazione:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} + \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf,s}} \leq 1.3$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1 \quad \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf,s}} \leq 1$$

Per tutti i dettagli, nell'ambito dell'approccio "vita illimitata", si adotteranno i seguenti coefficienti di sicurezza:

$\gamma_{Mf} = 1.35$  per tutti i dettagli di carpenteria

$\gamma_{Mf} = 1.15$  per la rottura del piolo

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 10. ANALISI DEI CARICHI

### 10.1. Carichi permanenti (g1 e g2)

#### 10.1.1. Ponte Stradale

Dalle valutazioni dei carichi permanenti risulta, per la trave sinistra (le unità di misura utilizzate sono kN e m):

	<b>Peso a m<sup>2</sup></b>	<b>Peso per trave a ml</b>
<b>PESO ACCIAIO</b>	3.00 kN/m <sup>2</sup>	12.45 kN/m
<b>SOLETTA e LASTRA METALLICA</b>	6.40 kN/m <sup>2</sup>	26.50 kN/m
<b>PAVIMENTAZIONE</b>	3.00 kN/m <sup>2</sup>	10.50 kN/m
<b>CORDOLO</b>		2.12 kN/m
<b>BARRIERE</b>		1.50 kN/m

Pesi strutturali:

Peso strutturale a trave: 38.93 kN/m

Permanenti portati:

Peso a trave: 14.12 kN/m

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 10.1.2. Passerella pedonale

Dalle valutazioni dei carichi permanenti risulta, per la trave sinistra (le unità di misura utilizzate sono kN e m):

	Peso a m <sup>2</sup>	Peso per trave a ml
<b>PESO ACCIAIO</b>	2.50 kN/m <sup>2</sup>	3.34 kN/m
<b>SOLETTA e LASTRA METALLICA</b>	3.88 kN/m <sup>2</sup>	5.19 kN/m
<b>PAVIMENTAZIONE</b>	0 kN/m <sup>2</sup>	0 kN/m
<b>CORDOLO</b>		0 kN/m
<b>BARRIERE</b>		1.00 kN/m

### Pesi strutturali:

Peso strutturale a trave: 8.53 kN/m

### Permanenti portati:

Peso a trave: 1.00 kN/m

## 10.2. Ritiro differenziale fra trave e soletta ( $\epsilon_2$ )

L'azione da ritiro è stata determinata secondo il punto 11.2.10.6 delle NTC 2018. Si è considerato un **calcestruzzo a ritiro compensato**, sia per ponte che passerella.

La dilatazione lineare specifica finale da ritiro per il conglomerato della soletta, sottoposto a maturazione in ambiente con umidità relativa di circa 55% e avente dimensione fittizia  $h_0=2A_c/u \cong 60$  (rapporto tra l'area della sezione della soletta e il perimetro della stessa a contatto con l'atmosfera), risulta:

$$\epsilon_{sh} = 0.00012$$

in cui è stato assunto  $t_0$ , età del conglomerato a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro, compreso tra 8 e 60 giorni.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Per le travi, essendo elementi composti acciaio-calcestruzzo, si sono valutati separatamente gli effetti primari del ritiro e gli effetti secondari (dovuti all'iperstaticità della struttura). Gli effetti primari vengono valutati con la formula:

$$N_r = \varepsilon_{sh} * E_s / n_{f2b} * b_{eff} * t_{cls}$$

$$M_r = N_r * e$$

In particolare con "e" si è indicata l'eccentricità fra il baricentro della soletta e il baricentro della sezione composta omogeneizzata. In sede di verifica tensionale, nella soletta, alle tensioni indotte da  $N_r$  e  $M_r$  si aggiunge lo stato di coazione locale di trazione  $\sigma_{sh} = \varepsilon_{sh} * E_s / n_{f2b}$ .

Gli effetti del ritiro primario nelle verifiche sono calcolati automaticamente dal software Ponti EC4 sezione per sezione, e sono ignorati nelle zone fessurate in accordo a EN1994-2, 5.4.2.2 (8); gli effetti secondari sono presi in conto dalla modellazione globale effettuata con Straus7 di cui si riportano nel seguito dei paragrafi le sollecitazioni tramite opportuni gradienti termici forniti da PontiEC4.

In particolare si procede a risolvere la struttura nel seguente modo:

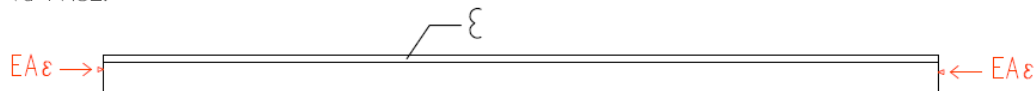
- *1° fase*: si applicano dei vincoli ausiliari alla sommità dell'impalcato e si va a verificare la coazione di progetto. Si genererà quindi una reazione vincolare fittizia che sarà da riapplicare nello schema statico successivo di struttura iperstatica.
- *2° fase*: si applica sulla struttura composta da impalcato e spalle la reazione vincolare generata in prima fase con segno opposto. L'azione complessiva sull'impalcato sarà la somma della prima fase e seconda fase. Mentre l'azione sulla spalla sarà direttamente quella ottenuta nella seconda fase.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

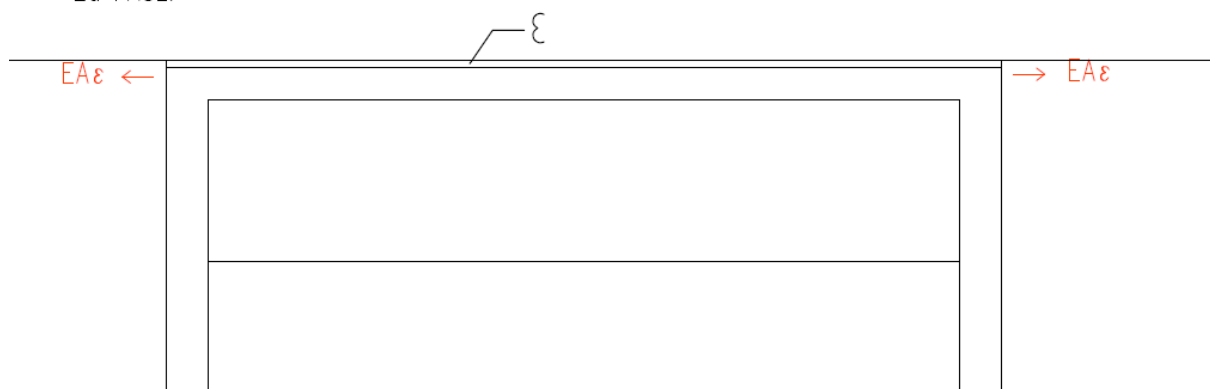
Documento

Relazione di calcolo strutturale

1a FASE:



2a FASE:



## 10.2.1. Ponte Stradale

Sulla base delle caratteristiche geometrico-inerziali definite in precedenza nella relazione si può determinare il valore dell'azione concentrata da applicare in testa alle spalle indotte dall'impalcato (l'azione è riferita ad un metro di profondità in accordo al modello di calcolo in Paratie):

$$F = E A \varepsilon = 33345000 / 3 \times 1 \times 0.24 \times 0.00012 = 320 \text{ kN/m}$$

## 10.2.2. Passerella pedonale

Sulla base delle caratteristiche geometrico-inerziali definite in precedenza nella relazione si può determinare il valore dell'azione concentrata da applicare in testa alle spalle indotte dall'impalcato (l'azione è riferita ad un metro di profondità in accordo al modello di calcolo in Paratie):



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

$$F = E A \varepsilon = 33345000 / 3 \times 1 \times 0.13 \times 0.00012 = 174 \text{ kN/m}$$

### 10.3. Variazione termica differenziale ( $\varepsilon_3$ )

Nelle strutture miste, vista la differente inerzia termica dei materiali che costituiscono l'impalcato, si considera una variazione termica uniforme sulla soletta di  $\pm 10^\circ\text{C}$ , come da indicazioni in EC1 Parte 5 Cap 6.1 previsto dall'Approccio 2 per impalcati misti acciaio-calcestruzzo.

Questa coazione è stata trattata in termini analoghi al ritiro: si sono cioè implementati gli effetti iperstatici nel modello Straus7, e gli effetti isostatici sono calcolati sezione per sezione in Ponti EC4 così come descritto per il ritiro. Per l'azione nelle sottostrutture si è implementata la forza concentrata in sommità spalla come spiegato al paragrafo precedente.

La dilatazione termica differenziale considerata nei calcoli è la seguente:

$$\varepsilon_{\Delta T} = \alpha * \Delta T = 1,15 \text{ E-5} \times 10 = 1.15 \text{ E-4}$$

#### 10.3.1. Ponte Stradale

Sulla base delle caratteristiche geometrico-inerziali definite in precedenza nella relazione si può determinare il valore dell'azione concentrata da applicare in testa alle spalle indotte dall'impalcato (l'azione è riferita ad un metro di profondità in accordo al modello di calcolo in Paratie):

$$F = E A \varepsilon = 33345000 \times 1 \times 0.24 \times 0.00012 = 960 \text{ kN/m}$$

#### 10.3.2. Passerella pedonale

Sulla base delle caratteristiche geometrico-inerziali definite in precedenza nella relazione si può determinare il valore dell'azione concentrata da applicare in testa alle spalle indotte dall'impalcato (l'azione è riferita ad un metro di profondità in accordo al modello di calcolo in Paratie):

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

$$F = E A \varepsilon = 33345000 \times 1 \times 0.13 \times 0.00012 = 520 \text{ kN/m}$$

## 10.4. Variazione termica uniforme ( $\varepsilon_3$ )

Negli impalcati integrali riveste un ruolo di grande importanza anche la variazione termica uniforme o stagionale. Tale effetto produce un complessivo allungamento, nel caso di variazione termica positiva, o accorciamento, nel caso di variazione termica negativa, dell'impalcato. Allungamento o l'accorciamento producono quindi spinte o trazioni sulle spalle. Prendendo ad esempio il caso della variazione termica positiva e quindi dell'allungamento, l'impalcato sentirà un'azione di compressione tanto maggiore, maggiore è la rigidità alla traslazione della spalla e del terreno che sta dietro ad essa. Inoltre, a seguito dell'allungamento dell'impalcato e del conseguente spostamento della spalla, quest'ultima ruoterà anche. Tale rotazione genererà un momento che andrà ad aggiungersi a quello prodotto dai carichi verticali. Come detto in precedenza le azioni sopra citate saranno tanto maggiori, maggiori sono le rigidità di spalla e terreno, di conseguenza, questi effetti saranno più rilevanti nel caso in cui l'impalcato voglia allungarsi e allo spostamento si oppongano sia la spalla che il terreno, piuttosto che nel caso in cui l'impalcato voglia accorciarsi e quindi rimanga la resistenza della spalla ma venga meno quella del terreno. Per questa ragione sono state prese in considerazione solo le azioni prodotte da variazione termica positiva generante allungamento.

Si considera una variazione termica uniforme sulla soletta di +30°C, come da indicazioni in EC1 Parte 5 Cap 6.1, la dilatazione termica differenziale considerata nei calcoli è la seguente:

$$\varepsilon_{\Delta T} = \alpha * \Delta T = 1,15 \text{ E-5} \times 30 = 3.45 \text{ E-4}$$

### 10.4.1. Ponte Stradale

Sulla base delle caratteristiche geometrico-inerziali definite in precedenza nella relazione si può determinare il valore dell'azione concentrata da applicare in testa alle spalle indotte

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

dall'impalcato (l'azione è riferita ad un metro di profondità in accordo al modello di calcolo in Paratie):

$$F = E A \varepsilon = 210000000 \times 0.045 \times 0.00012 = 3260 \text{ kN/m}$$

## 10.4.2. Passerella pedonale

Sulla base delle caratteristiche geometrico-inerziali definite in precedenza nella relazione si può determinare il valore dell'azione concentrata da applicare in testa alle spalle indotte dall'impalcato (l'azione è riferita ad un metro di profondità in accordo al modello di calcolo in Paratie):

$$F = E A \varepsilon = 210000000 \times 0.032 \times 0.00012 = 2318 \text{ kN/m}$$

## 10.5. Cedimenti differenziali delle spalle ( $\epsilon_4$ )

Non sono significativi per lo stato tensionale della struttura.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 10.6. Carichi da traffico (verifiche di resistenza) ( $q_1$ )

Si seguono le disposizioni contenute nel D.M. 2018, cap. 5.1.3.3.5, equivalenti a quelle contenute in EN 1991-2. Si fa riferimento a ponti di I categoria.

Nel caso in esame, la carreggiata, di larghezza utile pari a 5 m, è in grado di ospitare 1 corsia di carico di larghezza convenzionale pari a 3.0 m.

Corsia di carico n.1 costituita da:

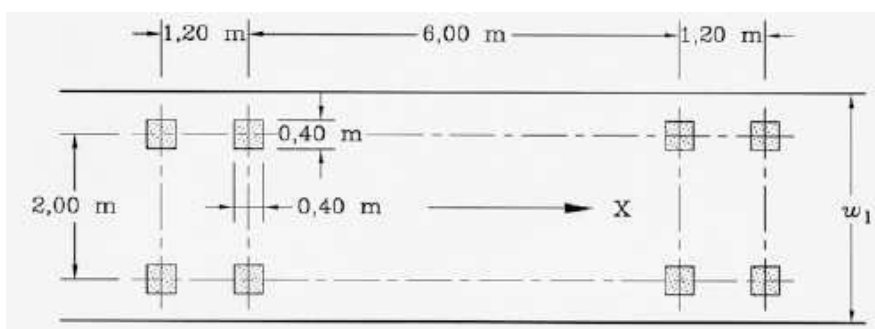
- Schema di carico n.1: n. 4 carichi concentrati da 150 kN disposti a interasse 2.00m in direzione longitudinale al viadotto e 1.2 m in direzione trasversale;
- Carico uniformemente ripartito d'intensità 9.0 kN/m<sup>2</sup> su una larghezza di 3.00m
- Schema di carico 5 con carico distribuito di 5.00 kPa.

Dai carichi descritti si sono individuati diversi schemi di carico, mirati a massimizzare gli effetti sulle travate.

Secondo quanto riportato nel capitolo 6.4: "Ripartizione trasversale per le travi principali", i carichi sollecitanti le travi non saranno quelli sopra citati nella loro totalità ma una loro percentuale. Nello specifico i carichi utilizzati nel modello sono i seguenti.

## 10.7. Verifiche a fatica

Le verifiche a fatica sono effettuate con riferimento al metodo dei coefficienti  $\lambda$ . Pertanto si considera il transito sulla corsia lenta del veicolo FLM3, formato da 4 assi da 120.0 kN ciascuno, ed avente la configurazione planimetrica indicata in figura.



La struttura in esame è a carreggiata unica con doppio senso di marcia e pertanto si considera la presenza di due corsie lente, posizionate nella loro collocazione reale di

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

progetto. La presenza della doppia corsia lenta e delle rispettive posizioni, è tenuta in conto attraverso il coefficiente  $\lambda_4$ .

Per la valutazione degli effetti dei carichi variabili da fatica è stato utilizzato lo strumento per i carichi mobili implementato in Straus7, basato sullo studio delle linee d'influenza, in modo da ottenere direttamente l'involuppo di tutte le sollecitazioni associate alla fatica nelle sezioni di verifica.

## **10.8. Azione di frenamento dei veicoli (q3)**

Tale sollecitazione non è presa in considerazione poiché nel nostro caso produce sollecitazioni trascurabili sugli elementi d'impalcato.

## **10.9. Azione centrifuga (q4)**

Essendo l'opera in rettilineo, l'azione centrifuga non è presente.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

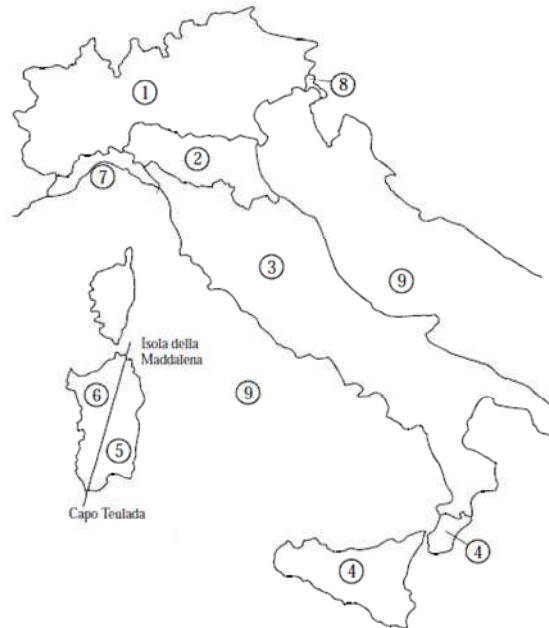
Relazione di calcolo strutturale

## 10.10. Vento (q6)

### 10.10.1. Ponte Stradale

2) Emilia Romagna

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
2	25	750	0.015
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			50
$T_R$ (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$			
$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b (T_R = 50 \text{ [m/s]})$			25
$\alpha_R (T_R)$			1.00
$v_b (T_R) = v_b \times \alpha_R \text{ [m/s]}$			25.00



$p$ (pressione [kN/m <sup>2</sup> ] con $c_p$ unitario) = $q_b \cdot c_e \cdot c_d$	0.703
$q_b$ (pressione cinetica di riferimento [kN/m <sup>2</sup> ])	0.391
$c_e$ (coefficiente di esposizione)	1.801
$c_t$ (coefficiente di topografia)	1.00
$c_d$ (coefficiente dinamico)	1.00

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

Quota del punto considerato rispetto al suolo  
Distanza media dalla costa in linea d'aria

2.85 m
100 km

(distanze negative per costruzioni in mare)

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa		500m		750m	
	mare					
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
	costa		500m		
	mare				
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

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

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

Categoria di esposizione	Classe di rugosità	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
II	D	0.19	0.05	4

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

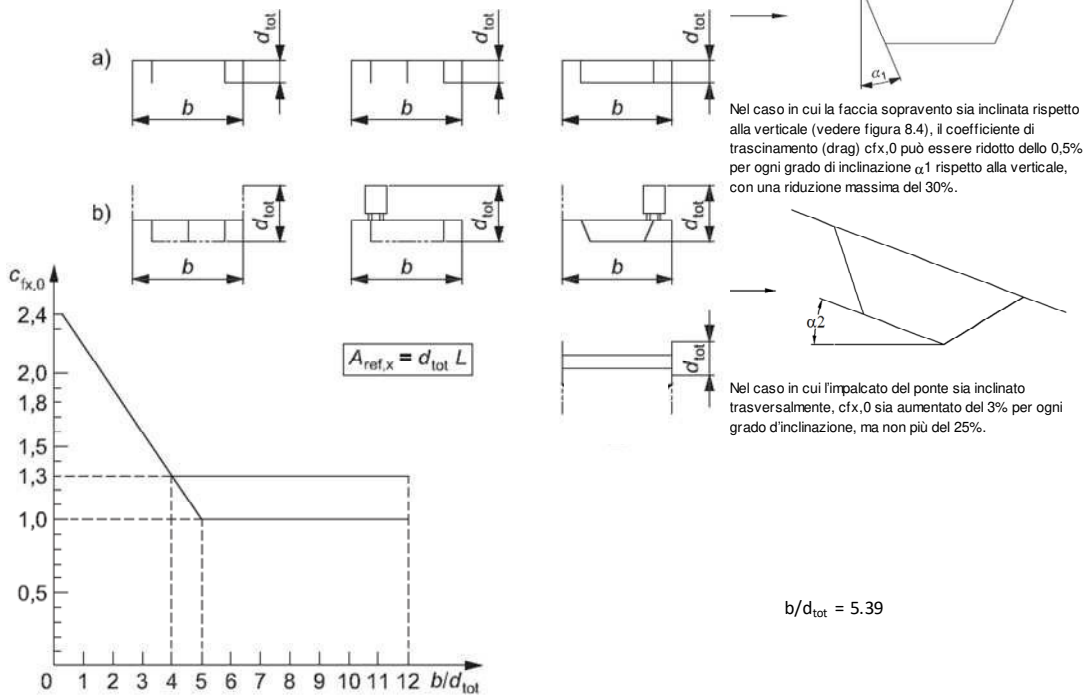
Documento

Relazione di calcolo strutturale

b [m]	d <sub>tot</sub> [m]	C <sub>fx,0</sub>	α <sub>1</sub> [°]	K α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub> [°]	K α <sub>2</sub>	C <sub>r</sub>	p [kN/m <sup>2</sup> ]
8.30	1.54	1.73	0.00	0.00	0.00	0.00	1.7	1.21
Parapetti solidi, barriere antirumore, barriere di sicurezza solide o traffico:							Curva b)	

a) Fase di costruzione, parapetti aperti (aperti più del 50%) e barriere di sicurezza aperte

b) Parapetti solidi, barriere antirumore, barriere di sicurezza solide o traffico



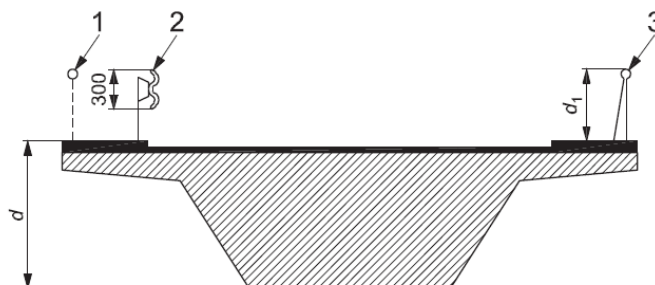
prospetto 8.1 Altezza d<sub>tot</sub> da impiegarsi per il calcolo di A<sub>ref,x</sub>

Sistema di ritenuta	su un lato	su entrambi i lati
Parapetto aperto o barriera di sicurezza aperta	$d + 0,3$ m	$d + 0,6$ m
Parapetto a parete piena o barriera di sicurezza a parete piena	$d + d_1$	$d + 2 d_1$
Parapetto aperto e barriera di sicurezza aperta	$d + 0,6$ m	$d + 1,2$ m

Legenda

- 1 Parapetti aperti
- 2 Barriere di sicurezza aperte
- 3 Parapetti, barriere antirumore o barriere di sicurezza a parete piena

Dimensioni in millimetri



Si ottiene una pressione del vento pari a 1.21 kPa.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

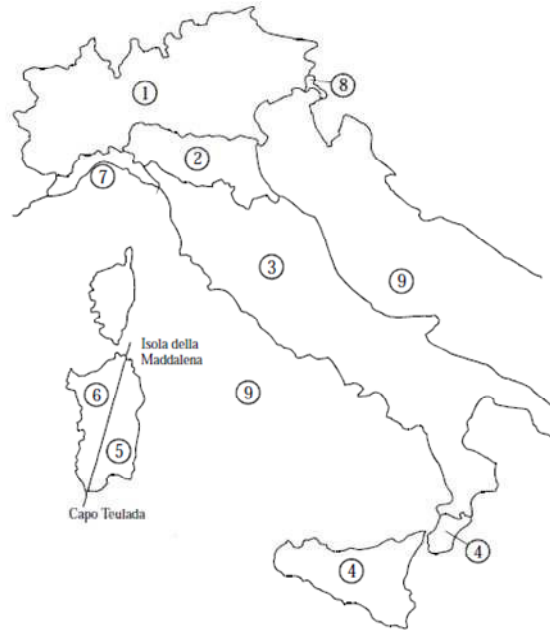
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 10.10.2. Passerella pedonale

2) Emilia Romagna

Zona	v <sub>b,0</sub> [m/s]	a <sub>0</sub> [m]	k <sub>a</sub> [1/s]
2	25	750	0.015
a <sub>s</sub> (altitudine sul livello del mare [m])			50
T <sub>R</sub> (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
v <sub>b</sub> (T <sub>R</sub> = 50 [m/s])			25
α <sub>R</sub> (T <sub>R</sub> )			1.00
v <sub>b</sub> (T <sub>R</sub> ) = v <sub>b</sub> × α <sub>R</sub> [m/s]			25.00



p (pressione [kN/m <sup>2</sup> ] con c <sub>p</sub> unitario) = q <sub>b</sub> · c <sub>e</sub> · c <sub>d</sub>	0.703
q <sub>b</sub> (pressione cinetica di riferimento [KN/m <sup>2</sup> ])	0.391
c <sub>e</sub> (coefficiente di esposizione)	1.801
c <sub>t</sub> (coefficiente di topografia)	1.00
c <sub>d</sub> (coefficiente dinamico)	1.00

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

Quota del punto considerato rispetto al suolo  
 Distanza media dalla costa in linea d'aria

	2.85 m
	100 km

(distanze negative per costruzioni in mare)

ZONE 1,2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5 ** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8		
A	--	IV
B	--	IV
C	--	III
D	I	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7		

ZONA 9	
A	I
B	I
C	I
D	I

Categoria di esposizione	Classe di rugosità	k <sub>r</sub>	z <sub>0</sub> [m]	z <sub>min</sub> [m]
II	D	0.19	0.05	4



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

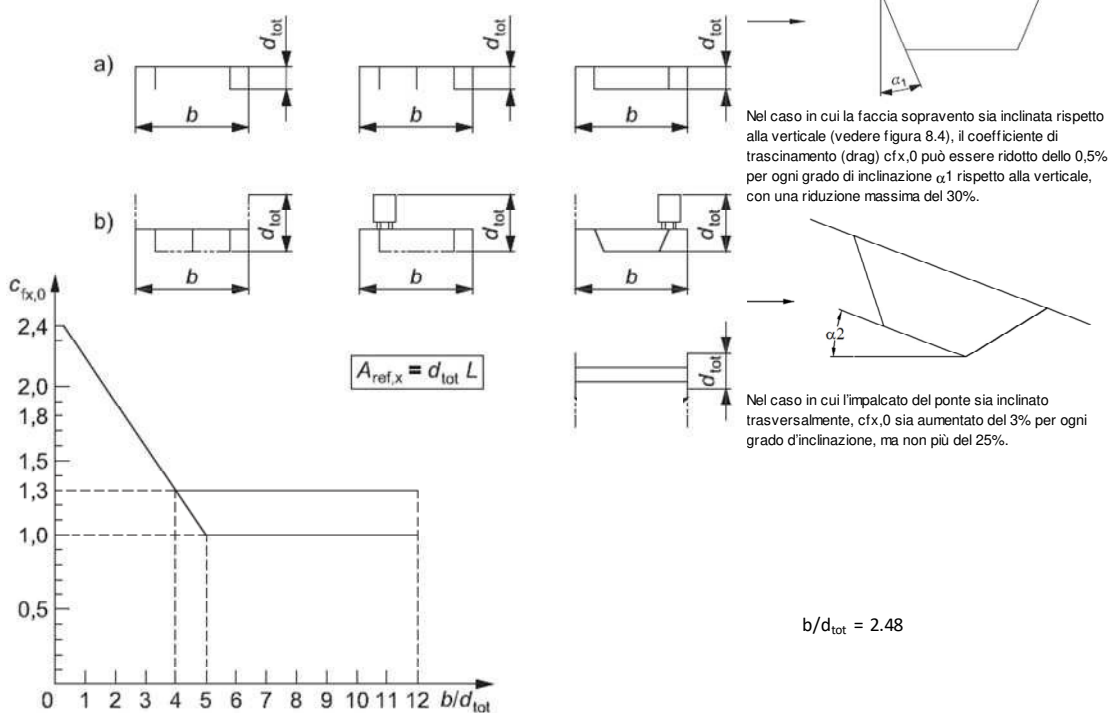
Documento

Relazione di calcolo strutturale

b [m]	d <sub>tot</sub> [m]	C <sub>fx,0</sub>	α <sub>1</sub> [°]	K α <sub>1</sub>	α <sub>2</sub> [°]	K α <sub>2</sub>	C <sub>f</sub>	p [kN/m <sup>2</sup> ]
2.68	1.08	1.73	15.00	0.08	0.00	0.00	1.6	1.12
Parapetti solidi, barriere antirumore, barriere di sicurezza solide o traffico:							Curva b)	

a) Fase di costruzione, parapetti aperti (aperti più del 50%) e barriere di sicurezza aperte

b) Parapetti solidi, barriere antirumore, barriere di sicurezza solide o traffico



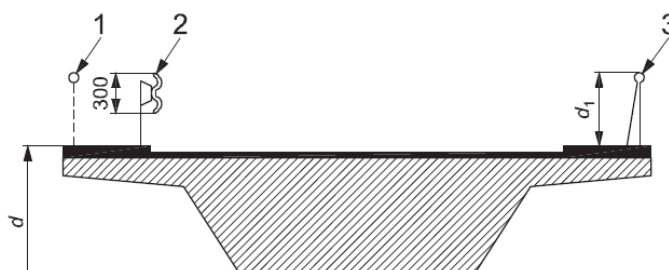
prospetto 8.1 Altezza d<sub>tot</sub> da impiegarsi per il calcolo di A<sub>ref,x</sub>

Sistema di ritenuta	su un lato	su entrambi i lati
Parapetto aperto o barriera di sicurezza aperta	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Parapetto a parete piena o barriera di sicurezza a parete piena	$d + d_1$	$d + 2 d_1$
Parapetto aperto e barriera di sicurezza aperta	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

Legenda

- 1 Parapetti aperti
- 2 Barriere di sicurezza aperte
- 3 Parapetti, barriere antirumore o barriere di sicurezza a parete piena

Dimensioni in millimetri



Si ottiene una pressione pari a 1.12 kPa.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 10.11. Azione sismica (q6)

L'azione sismica sulla costruzione è stata calcolata in accordo col paragrafo 3.2 delle NTC 2018.

## 10.12. Spinta delle terre e del sovraccarico a tergo

La spinta delle terre e la spinta generata dalla presenza del sovraccarico a tergo, per quanto riguarda le spalle e l'impalcato, è stata calcolata come descritto in precedenza, ovvero con pressione a monte di 25 kPa per il ponte stradale e 5 kPa per la passerella pedonale.

Lo stesso contributo sui pali di fondazione è invece preso direttamente in considerazione all'interno del modello di Paratie.

## 10.13. Effetto dell'attrito terreno/struttura

Nella valutazione dei coefficienti di spinta (attiva e passiva) è necessario tenere in conto che l'angolo di attrito tra manufatto e terreno ( $\delta$ ) risulta inferiore all'angolo di attrito interno del terreno. Nel caso in studio si assume quanto segue:

- $\delta/\phi = 0.50$ ; sia lato passivo che attivo.

## 10.14. Coefficienti di spinta in condizioni statiche

- **Spinta a riposo**

Per piano campagna orizzontale si fa riferimento alla seguente correlazione (Jaky, 1944 e Schmidt, 1966):

$$k_0 = 1 - \sin(\phi')$$

con :

$$\alpha = 0.5$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

OCR = grado di sovraconsolidazione

Per pendio inclinato ( $\beta$ ) si può considerare che la spinta a riposo sia parallela al p.c. e che il coefficiente  $k_o$  valga:

$$k_{o\beta} = k_o (1 + \text{sen}\beta)$$

- **Spinta attiva**

Il coefficiente di spinta attiva ( $K_a$ ) viene valutato ricorrendo alla correlazione generale di Mueller-Breslau basata sulla teoria di Coulomb e riferita a superfici di rottura piane. In questo caso l'approssimazione (rispetto a quanto si sarebbe ottenuto considerando superfici di rottura di geometria complessa) risulta molto contenuta e a favore di sicurezza.

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \left[ 1 + \frac{\sqrt{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

dove:

$\varphi$  = angolo d'attrito del terreno

$\alpha$  = angolo che la parete forma con l'orizzontale ( $\alpha = 90^\circ$  per parete verticale)

$\delta$  = angolo d'attrito terreno-parete

$\beta$  = inclinazione del terreno a monte rispetto all'orizzontale

- **Spinta passiva**

Per il calcolo del coefficiente di spinta passiva si fa riferimento a superfici di rottura di tipo complesso (spirale logaritmica) come suggerito da Caquot & Kerisel (1948).

- **Spinta attiva in fase sismica**

Il coefficiente di spinta attiva (contributo statico + sismico) viene calcolato ricorrendo alla formulazione di Mononobe & Okabe:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$$K_{as} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \vartheta - \delta) \left[ 1 - \frac{\sqrt{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta - \vartheta)}}{\sqrt{\sin(\alpha - \vartheta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

dove:

$$\vartheta = \arctan k_h / (1 \pm k_v)$$

Definito il coefficiente di spinta attiva ( $K_{as}$ ) come sopra indicato (contributo statico + contributo del sisma) è possibile risalire all'incremento di spinta dovuto al solo sisma operando come segue:

- Si calcola la spinta attiva in condizioni statiche:  $S_a = [(1/2 \cdot \sigma'_v \cdot H^*) + q \cdot H^*] \cdot K_a$
- Si calcola la spinta attiva in presenza di sisma:  $S_{as} = [(1/2 \cdot \sigma'_v \cdot H^*) + q \cdot H^*] \cdot (1 + k_v) \cdot K_{as}$
- Si calcola l'incremento dovuto al solo sisma:  $\Delta S_{as} = S_{as} - S_a$

La forza così calcolata viene applicata all'opera di sostegno in termini di pressione omogenea su tutta l'altezza di calcolo  $H^*$ :

$$\Delta P_s = \Delta S_{as} / H^*$$

Come altezza di calcolo si considera l'altezza di scavo.

Considerando che l'analisi di risposta sismica locale si è ricavata una accelerazione pari a 0.258g, si ottiene la seguente sovraspinta sismica da applicare sul fusto spalla nel modello:

<b>SOVRASPINTA SISMICA TERRENO DI MONTE SPALLE SISTENTI</b>
---

<b>M1</b>		
H <sub>media(spalla)</sub>	3.8 m	
γ	19	kN/m <sup>3</sup>
K <sub>a</sub>	0.271	
k <sub>h</sub>	0.258	
k <sub>v</sub>	0.129	
θ	12.86 °	

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

---

$\alpha$	90 °
$\beta$	0 °
$\delta$	<b>18 °</b>
$K_{a,e}$	0.404
$S_e$	62.56 kN/m
$S_a$	37.17 kN/m
$\Delta S$	25.39 kN/m
$q_{\Delta S}$	<b>6.68 kN/m/m</b>

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11. VERIFICA PONTE STRADALE

### 11.1. TRAVI DI IMPALCATO

#### 11.1.1. Proprietà geometrico-statiche delle travi longitudinali

L'impalcato risulta suddiviso in 3 tipologie di conci ad altezza variabile, essendo l'impalcato simmetrico, che si differenziano per i differenti spessori delle lamiere componenti la sezione, selezionate in funzione del relativo impegno statico.

La tabella seguente restituisce la lunghezza dei vari conci, unitamente all'ubicazione lungo la campata.

Scansione conci:

$L_{tot\ trave}$	45.40 m	
Concio A	9.00 m	Concio di spalla
Concio B	8.70 m	Concio intermedio
Concio C	10.00 m	Concio di mezzeria

	Concio A-E	Concio B-D	Concio C
<b><i>Piattabanda superiore</i></b>	600x45	600x60	600x65
<b><i>h anima</i></b>	var. 1059-1220	var. 1193-1283	Var. 1283-1300
<b><i>Spessore anima</i></b>	22	18	16
<b><i>Piattabanda inferiore</i></b>	950x50	950x65	950x75

Le proprietà geometrico-statiche delle sezioni di impalcato vengono valutate dal programma di verifica PontiEC4. Tutti i dati indicati sono espressi in mm e sono riferiti alla trave metallica singola, con relativa porzione di soletta collaborante.

Per i dati relativi a ciascuna riga, si rimanda alla legenda e alla figura sottostante:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	Legenda	
A	Area sezione	
$Z_G$	Distanza baricentro da intradosso	
$J_y$	Inerzia verticale	
$J_z$	Inerzia orizzontale	
$W_{y,0}$	Modulo resistenza lembo inf. piatt. inferiore	
$W_{y,1}$	Modulo resistenza lembo sup. piatt. inferiore	
$W_{y,3}$	Modulo resistenza lembo inf. piatt. superiore	
$W_{y,4}$	Modulo resistenza lembo sup. piatt. superiore	
$W_{y,5}$	Modulo resistenza lembo inferiore soletta in c.a.	
$W_{y,6}$	Modulo resistenza layer inferiore armatura	
$W_{y,7}$	Modulo resistenza layer superiore armatura	
$W_{y,8}$	Modulo resistenza lembo superiore soletta in c.a.	
$S_{y,1}$	Momento statico attacco anima/piatt. inferiore	
$S_{y,2}$	Momento statico rispetto baricentro	
$S_{y,3}$	Momento statico attacco anima/piatt. superiore	
$S_{y,4}$	Momento statico interfaccia trave/soletta	
e	Eccentricità tra baricentro globale e linea d'azione N	

Per quanto riguarda l'armatura longitudinale in soletta si è considerato, rispetto le sezioni di calcolo definite nel seguito:

	Sez. 1	Sez. 2a	Sez. 2b	Sez. 3a	Sez. 3b	Sez. 4
Layer sup. arm.	$\phi 26/120$	$\phi 16/20$	$\phi 16/20$	$\phi 16/20$	$\phi 16/20$	$\phi 16/20$
Layer inf. arm.	$\phi 26/120$	0	0	0	0	0

I pioli, diametro 22mm h=200mm, risultano:

- Concio A-E: 5 pioli/200mm
- Concio B-D: 3 pioli/200mm
- Concio C: 3 pioli/200mm

Nel calcolo delle caratteristiche geometriche-inerziali delle sezioni di travi, è stato tenuto in conto del contributo resistente offerto dalle predalles. Tali elementi sono saldati alle travi e tra di loro, di conseguenza non entrano in carico per azioni dei soli pesi propri. Esse

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

darebbero un contributo resistente una volta che il calcestruzzo avrà fatto presa, esattamente come se fossero armature lente presenti in soletta.

Di seguito si riportano le caratteristiche delle sezioni per ogni fase di calcolo.

- Fase 1    Peso proprio
- Fase 2a    Permanenti
- Fase 2b    Ritiro
- Fase 2c    Coazioni e/o presollecitazioni
- Fase 3a    Variazione termica + Traffico
- Cracked    Condizione di fessurazione della soletta

• **Concio A**

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Cracked
<b>A</b>	9.573E+4	1.938E+5	1.938E+5	1.938E+5	3.045E+5	1.385E+5
zG	423.12	801.53	801.53	801.53	939.1	650.28
DeltazG	--	--	--	--	--	--
Jy	1.964E+10	4.738E+10	4.738E+10	4.738E+10	5.8E+10	3.602E+10
Wy,0	-4.641E+7	-5.911E+7	-5.911E+7	-5.911E+7	-6.176E+7	-5.539E+7
Wy,1	-5.263E+7	-6.304E+7	-6.304E+7	-6.304E+7	-6.523E+7	-6E+7
Wy,3	3.318E+7	2.219E+8	2.219E+8	2.219E+8	7.641E+8	9.876E+7
Wy,4	3.083E+7	1.833E+8	1.833E+8	1.833E+8	4.797E+8	8.791E+7
Wy,5	--	1.833E+8	1.833E+8	1.833E+8	4.797E+8	8.791E+7
Wy,6	--	1.815E+8	1.815E+8	1.815E+8	4.7E+8	8.738E+7
Wy,7	--	1.056E+8	1.056E+8	1.056E+8	1.865E+8	6.006E+7
Wy,8	--	9.504E+7	9.504E+7	9.504E+7	1.607E+8	5.544E+7
Sy,1	1.891E+7	3.689E+7	3.689E+7	3.689E+7	4.342E+7	2.97E+7
Sy,2	2.044E+7	4.31E+7	4.31E+7	4.31E+7	5.211E+7	3.366E+7
Sy,3	1.659E+7	4.26E+7	4.26E+7	4.26E+7	5.205E+7	3.22E+7
Sy,4	3.725E-9	3.623E+7	3.623E+7	3.623E+7	4.939E+7	2.175E+7
nE	1E+300	1.8E+1	1.8E+1	1.8E+1	6E+0	1E+300

- Caratt. Lorde
- Caratt. Efficaci



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

• **Concio B**

Caratteristiche geometriche lordo

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Cracked
<b>A</b>	1.169E+5	1.985E+5	1.985E+5	1.985E+5	3.091E+5	1.431E+5
zG	472.3	804.62	804.62	804.62	985.55	609.24
DeltazG	--	--	--	--	--	--
Jy	3.111E+10	6.308E+10	6.308E+10	6.308E+10	8.176E+10	4.322E+10
Wy,0	-6.588E+7	-7.84E+7	-7.84E+7	-7.84E+7	-8.295E+7	-7.094E+7
Wy,1	-7.639E+7	-8.528E+7	-8.528E+7	-8.528E+7	-8.881E+7	-7.941E+7
Wy,3	4.731E+7	1.939E+8	1.939E+8	1.939E+8	5.66E+8	8.299E+7
Wy,4	4.335E+7	1.637E+8	1.637E+8	1.637E+8	3.999E+8	7.442E+7
Wy,5	--	1.637E+8	1.637E+8	1.637E+8	3.999E+8	7.442E+7
Wy,6	--	1.637E+8	1.637E+8	1.637E+8	3.999E+8	7.442E+7
Wy,7	--	1.096E+8	1.096E+8	1.096E+8	2.073E+8	5.607E+7
Wy,8	--	1.009E+8	1.009E+8	1.009E+8	1.839E+8	5.266E+7
Sy,1	2.716E+7	4.768E+7	4.768E+7	4.768E+7	5.885E+7	3.561E+7
Sy,2	2.865E+7	5.26E+7	5.26E+7	5.26E+7	6.648E+7	3.828E+7
Sy,3	2.476E+7	5.165E+7	5.165E+7	5.165E+7	6.629E+7	3.584E+7
Sy,4	7.451E-9	3.886E+7	3.886E+7	3.886E+7	6.001E+7	1.601E+7
nE	1E+300	1.8E+1	1.8E+1	1.8E+1	6E+0	1E+300

• **Concio C**

Caratteristiche geometriche lordo

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Cracked
<b>A</b>	1.288E+5	2.103E+5	2.103E+5	2.103E+5	3.21E+5	1.55E+5
zG	498.88	844.76	844.76	844.76	1043.07	639.43
DeltazG	--	--	--	--	--	--
Jy	4.079E+10	8.108E+10	8.108E+10	8.108E+10	1.056E+11	5.597E+10
Wy,0	-8.176E+7	-9.598E+7	-9.598E+7	-9.598E+7	-1.012E+8	-8.752E+7
Wy,1	-9.622E+7	-1.053E+8	-1.053E+8	-1.053E+8	-1.091E+8	-9.915E+7
Wy,3	5.541E+7	2.078E+8	2.078E+8	2.078E+8	5.502E+8	9.397E+7
Wy,4	5.091E+7	1.781E+8	1.781E+8	1.781E+8	4.11E+8	8.472E+7
Wy,5	--	1.781E+8	1.781E+8	1.781E+8	4.11E+8	8.472E+7
Wy,6	--	1.781E+8	1.781E+8	1.781E+8	4.11E+8	8.472E+7
Wy,7	--	1.257E+8	1.257E+8	1.257E+8	2.363E+8	6.58E+7
Wy,8	--	1.166E+8	1.166E+8	1.166E+8	2.125E+8	6.214E+7
Sy,1	3.287E+7	5.752E+7	5.752E+7	5.752E+7	7.165E+7	4.289E+7
Sy,2	3.431E+7	6.226E+7	6.226E+7	6.226E+7	7.914E+7	4.544E+7
Sy,3	2.998E+7	6.104E+7	6.104E+7	6.104E+7	7.885E+7	4.26E+7
Sy,4	-3.725E-9	4.455E+7	4.455E+7	4.455E+7	7.01E+7	1.81E+7
nE	1E+300	1.8E+1	1.8E+1	1.8E+1	6E+0	1E+300

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 11.1.2. Sollecitazioni di calcolo

Si riportano di seguito le sollecitazioni agenti nell'impalcato. Come detto le sollecitazioni sono state estratte in parte dal modello di calcolo in ParatiePlus ed in parte dal modello di calcolo in Straus7. Dal modello in Straus7 è stato preso il diagramma di sollecitazione relativamente a:

- Pesi strutturali (in condizione di semplice appoggio)
- Ritiro iperstatico
- Variazione termica giornaliera iperstatica
- Traffico (schema di carico 1)
- Fatica (schema FLM3)

Si specifica che per i carichi agenti sullo schema iperstatico inseriti nel modello Straus, stata inserita una molla rotazionale rappresentante il grado di vincolo offerto da spalla, pali e terreno a tergo all'impalcato. Si riporta nel seguito il calcolo di questa rigidità sia nel caso di carichi a lungo termine ( $n=18$ ), che a breve termine ( $n=6$ ).  
I restanti carichi agenti sono stati estratti dal modello in Paratie.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

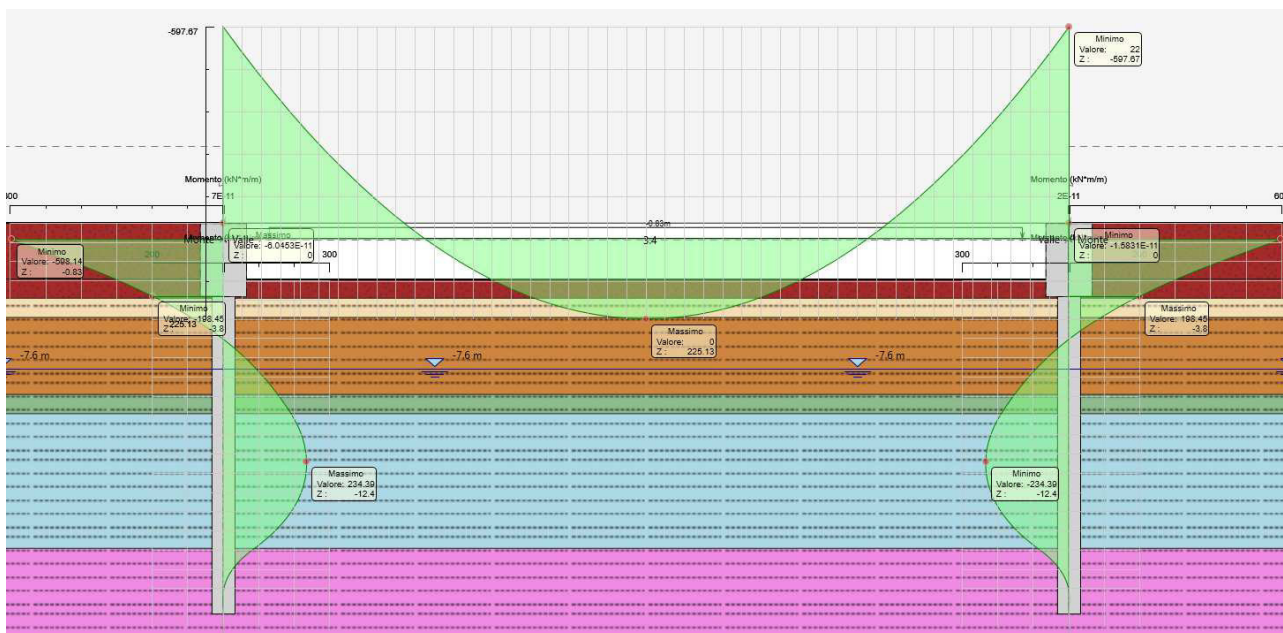
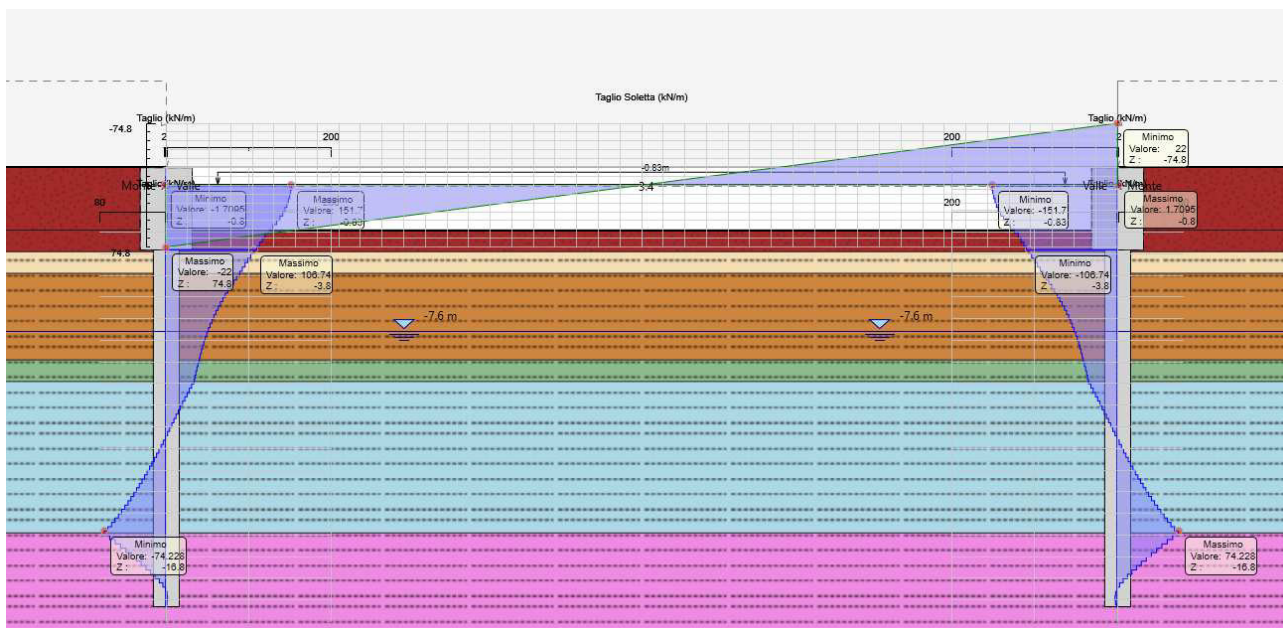
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.3. Modello ParatiePlus

Si riportano di seguito i diagrammi di taglio e momento in impalcato e sottostrutture nelle varie fasi analizzate:

- Riempimento a tergo e applicazione carichi permanenti portati:



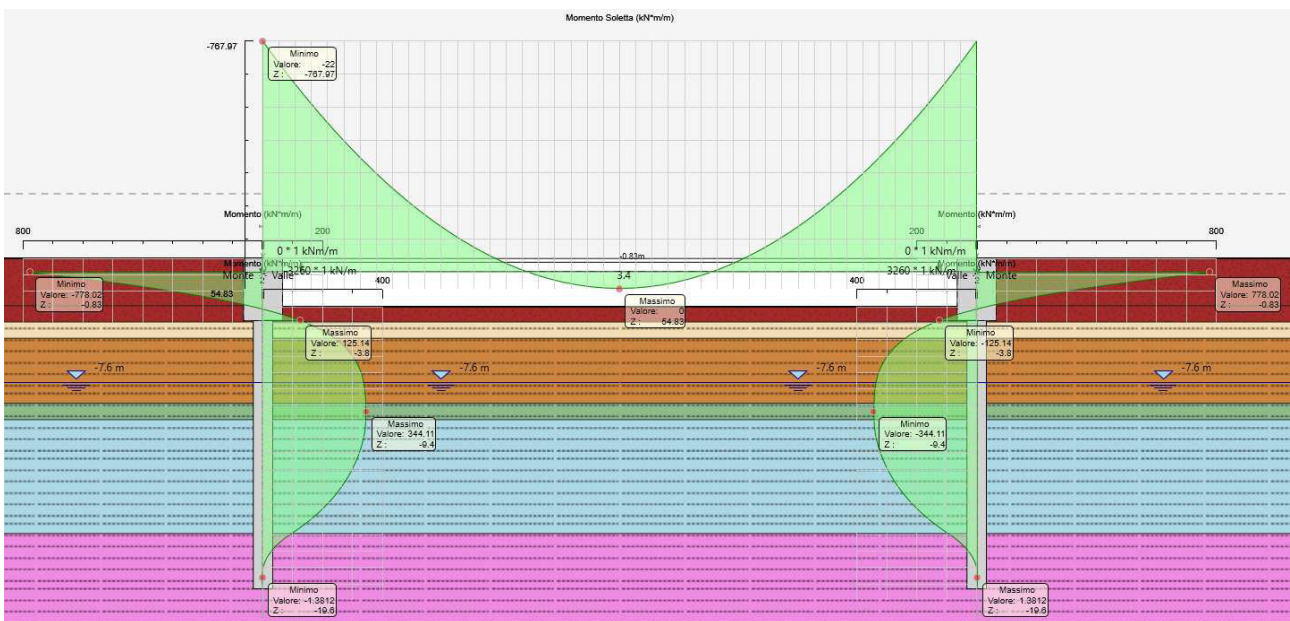
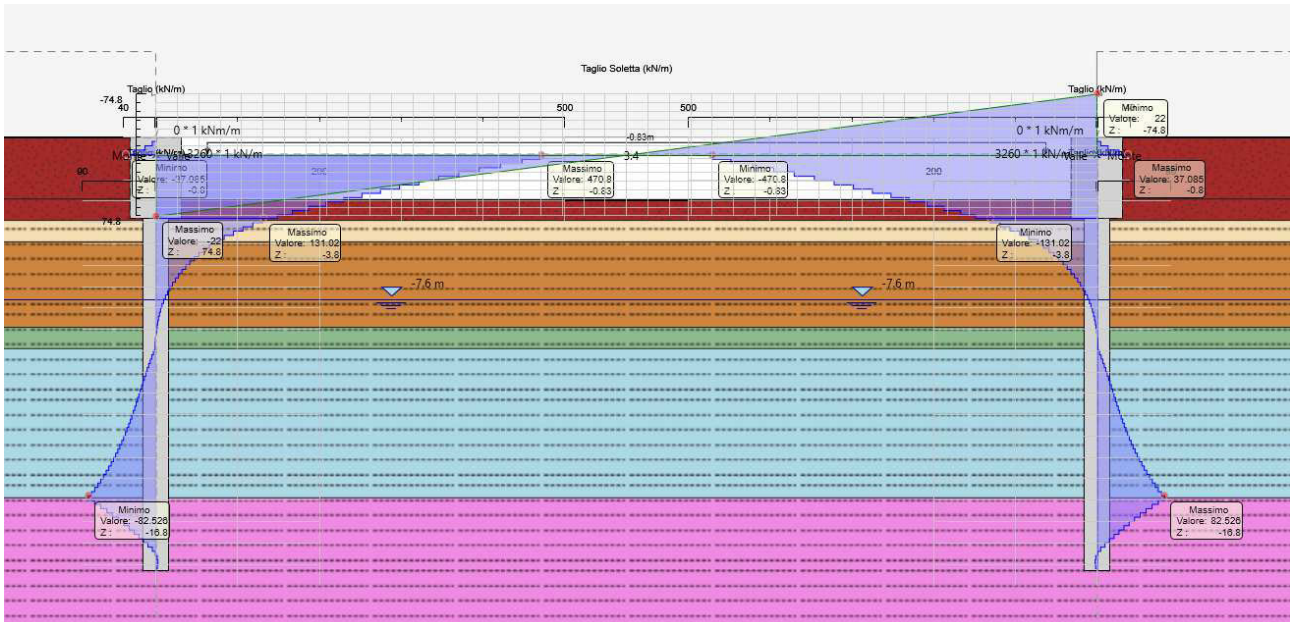
- Variazione termica uniforme stagionale di espansione:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

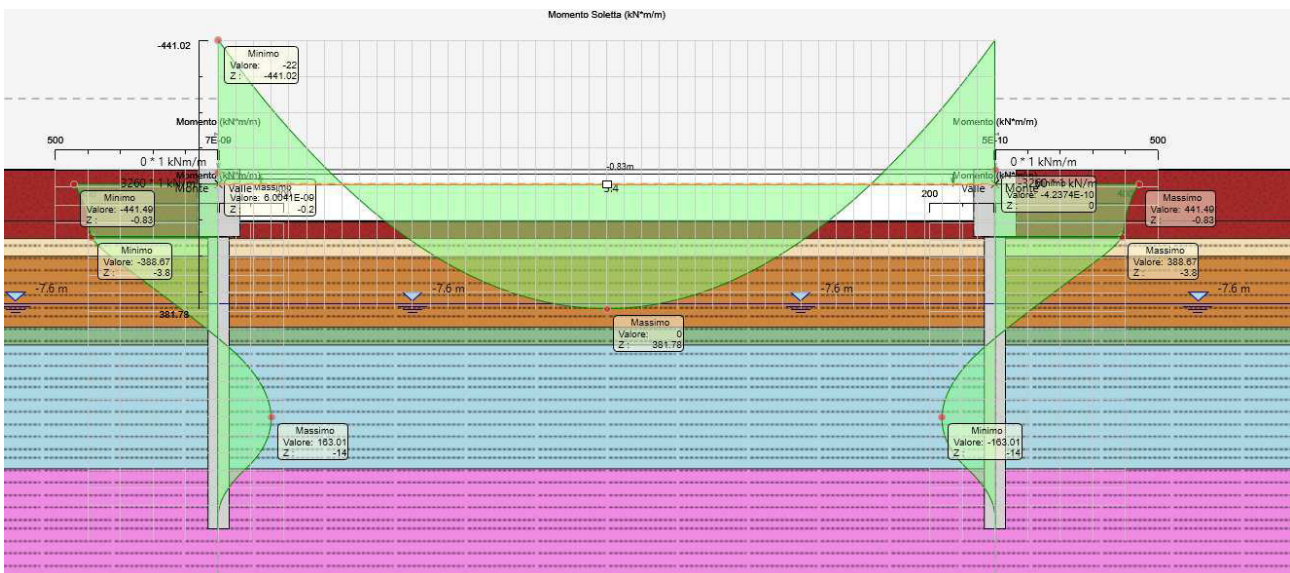
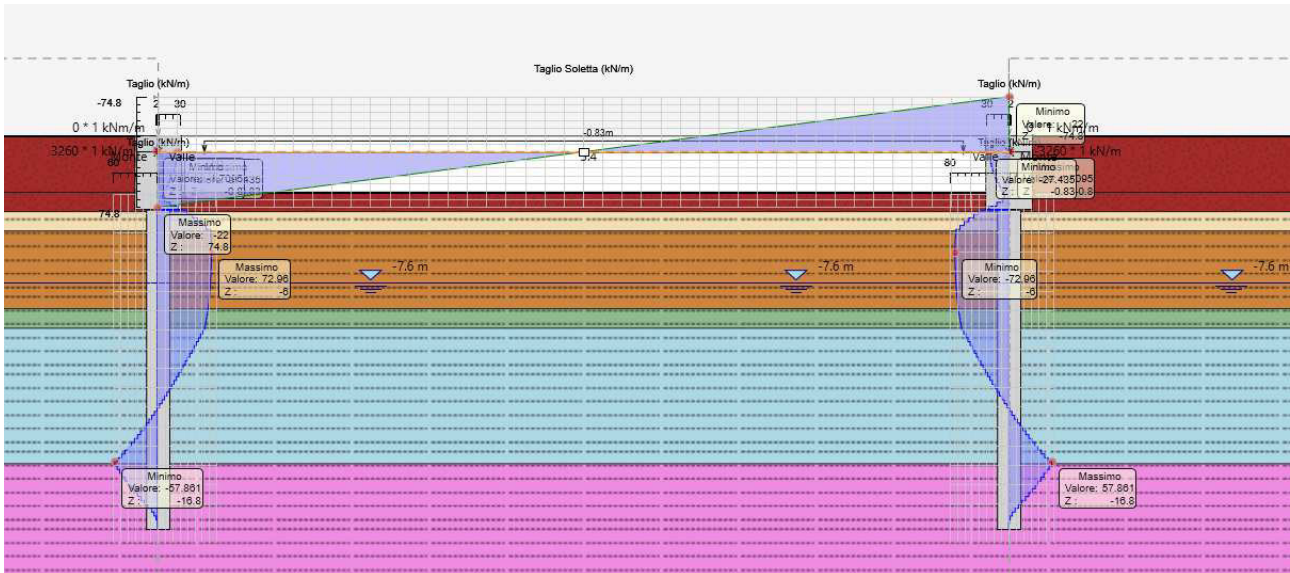


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica uniforme stagionale di contrazione:



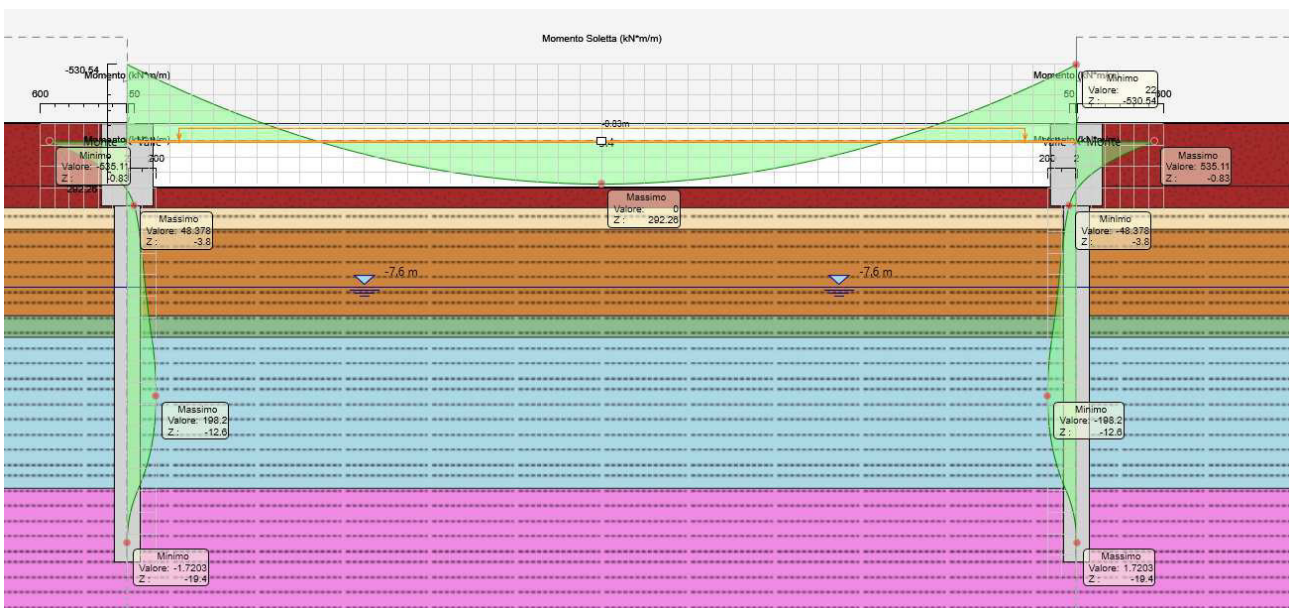
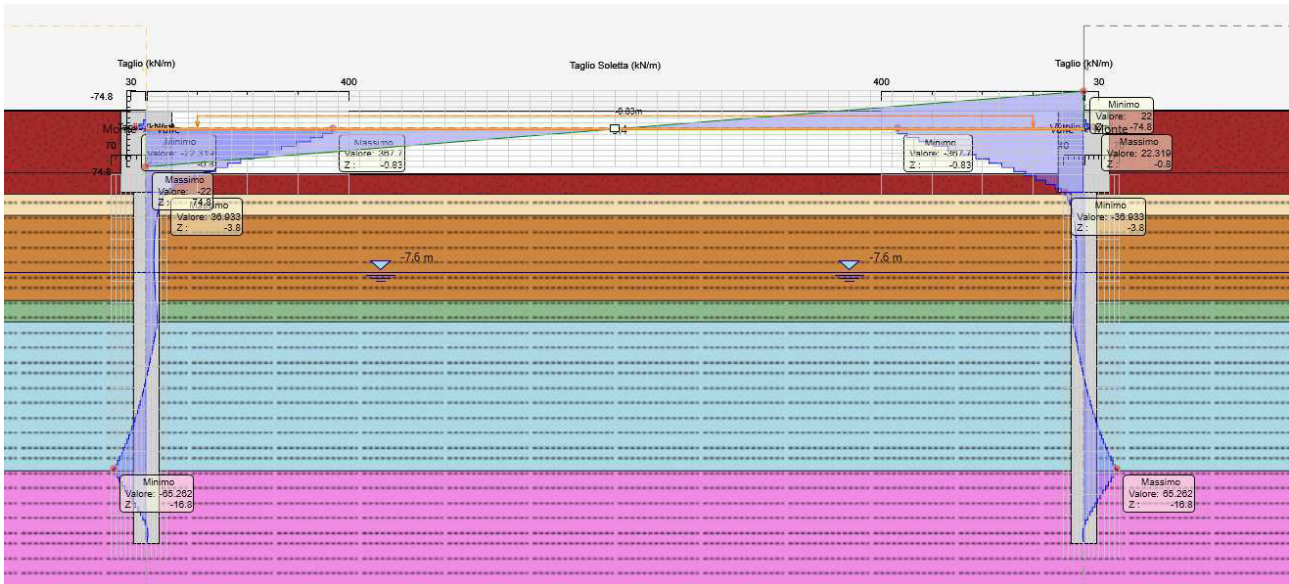


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Scarico struttura dalla variazione termica:

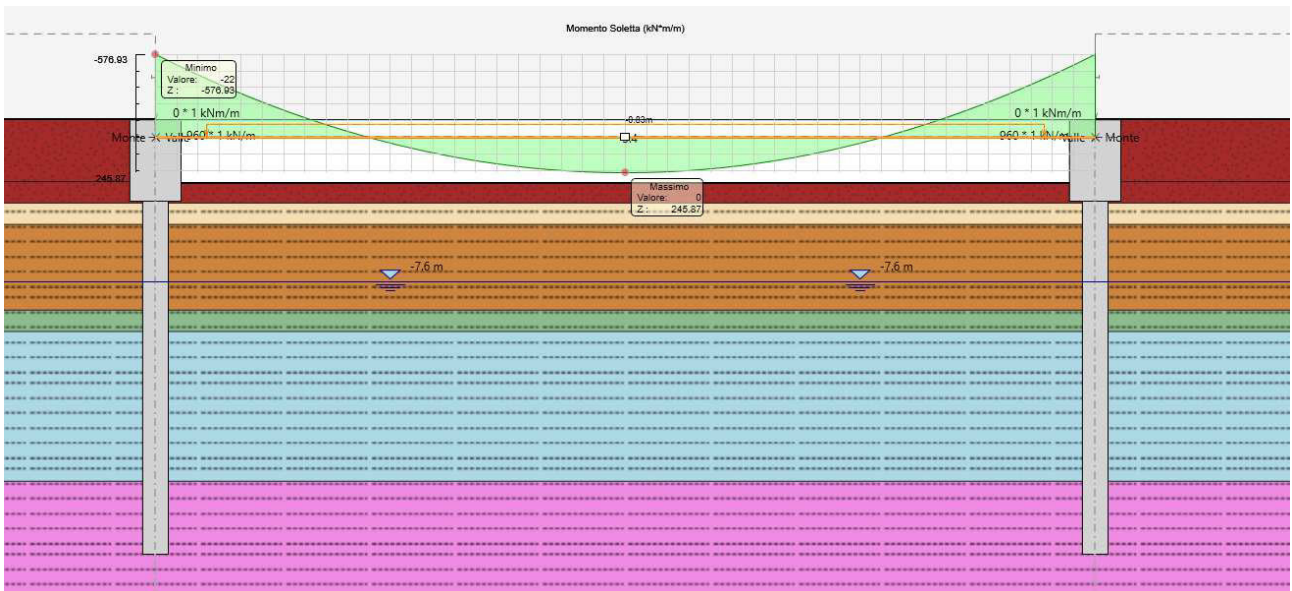
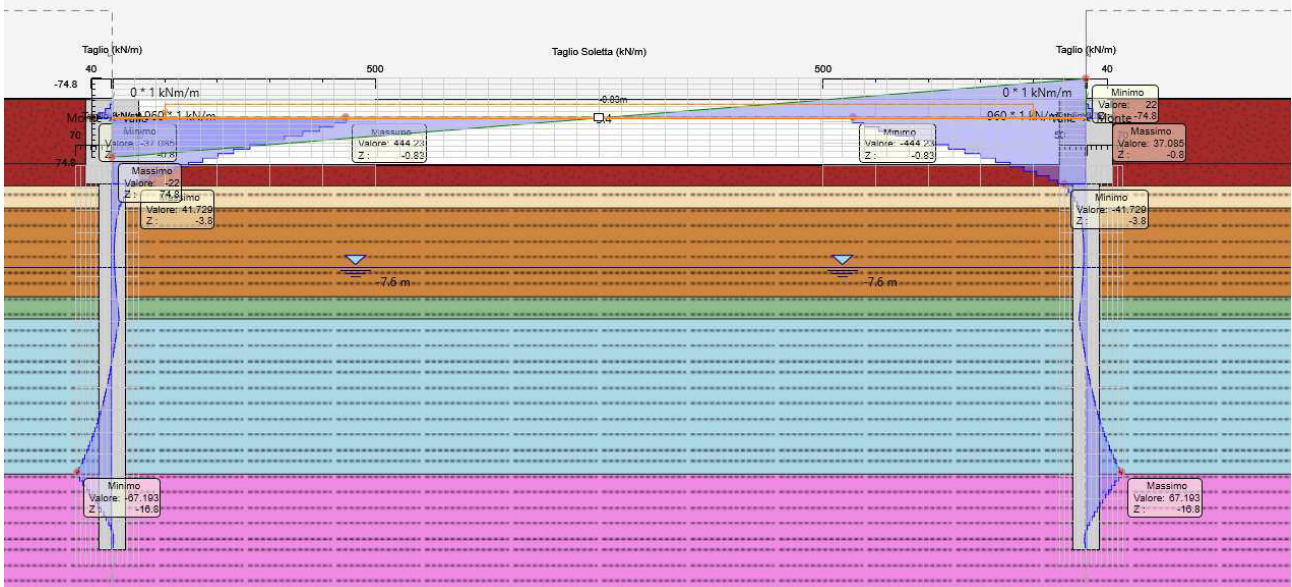


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica differenziale giornaliera di espansione:



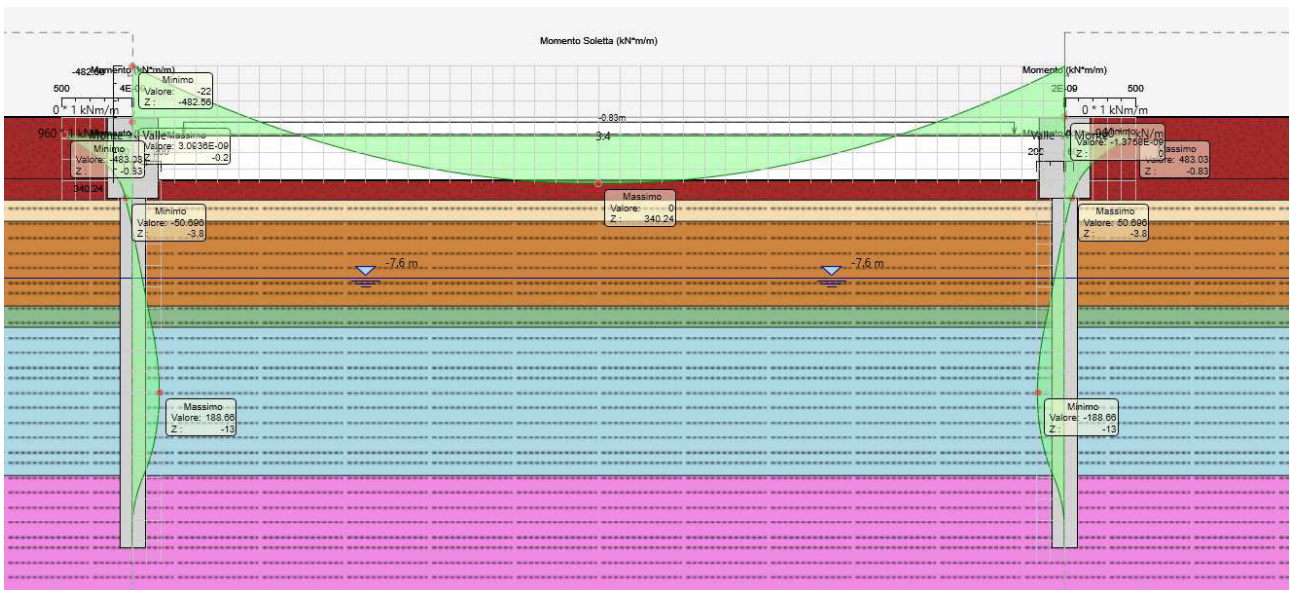
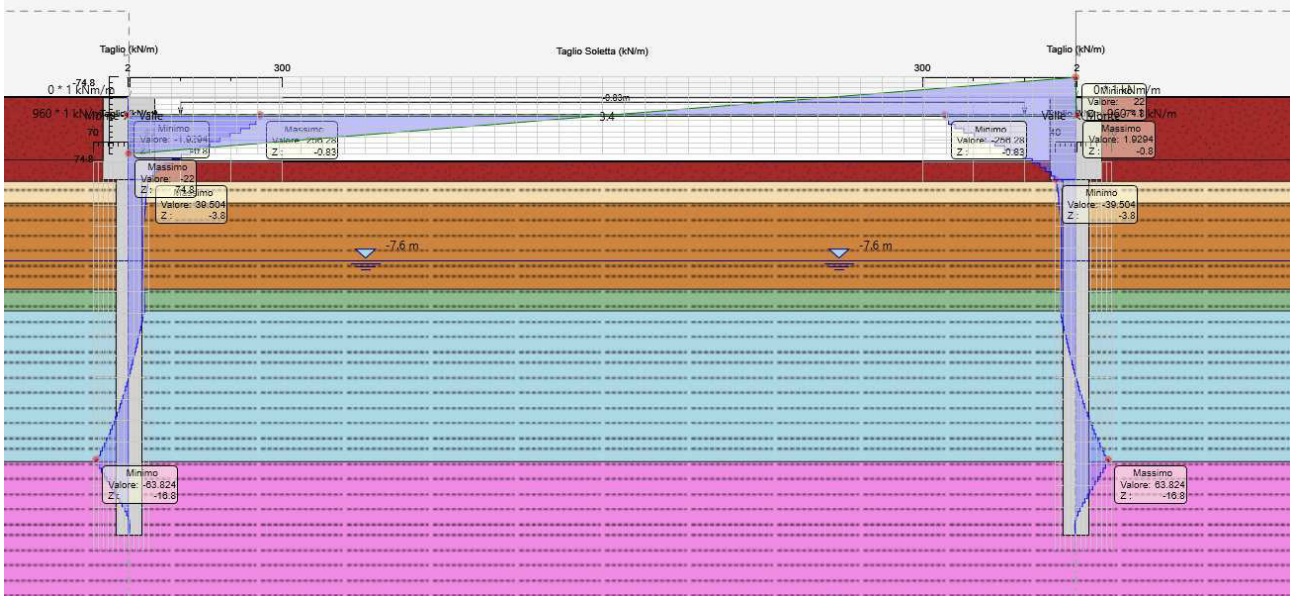


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica differenziale giornaliera di contrazione:



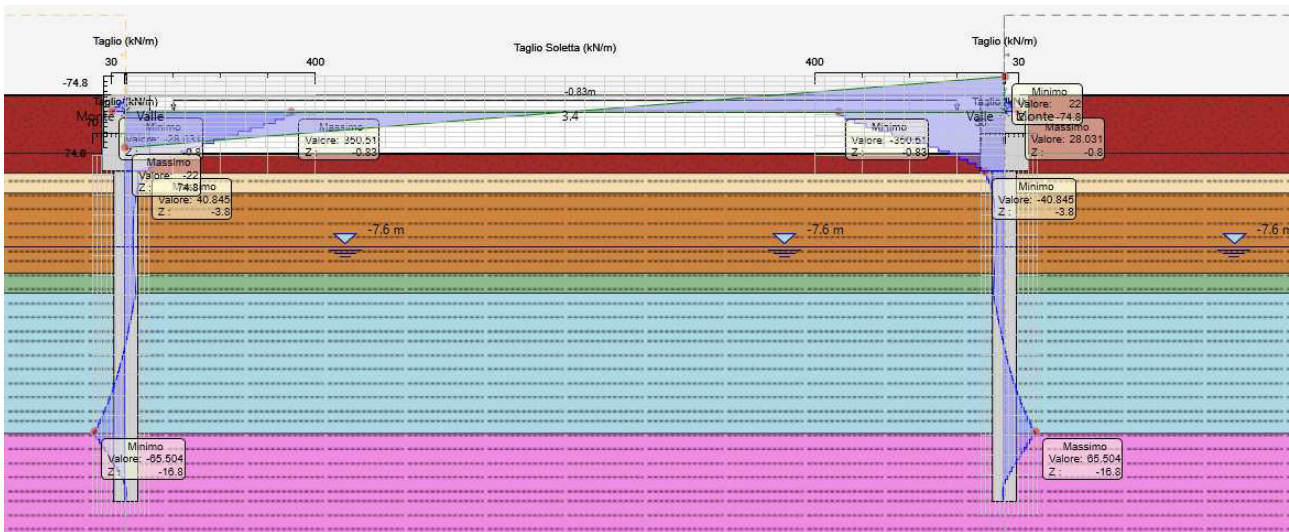
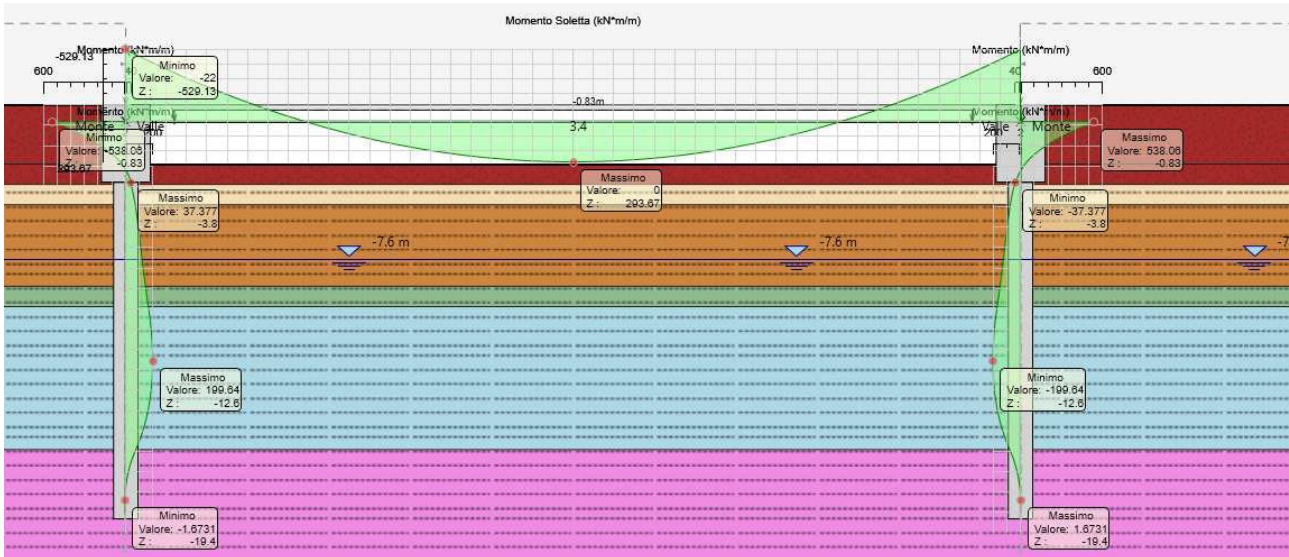


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Scarico struttura dalla variazione termica:

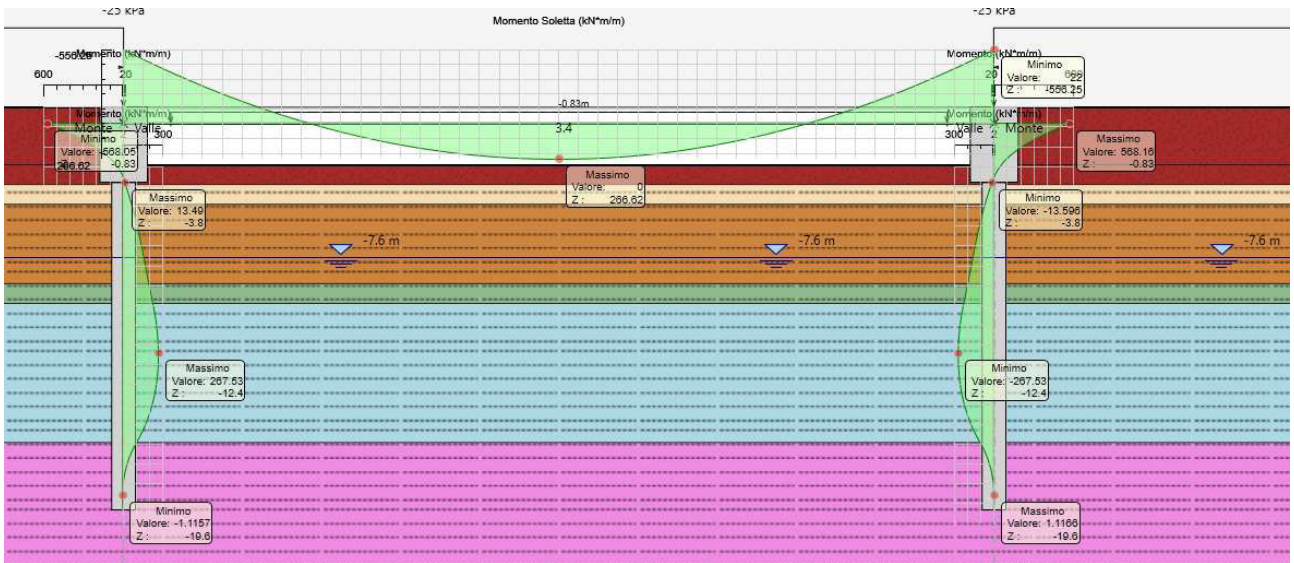
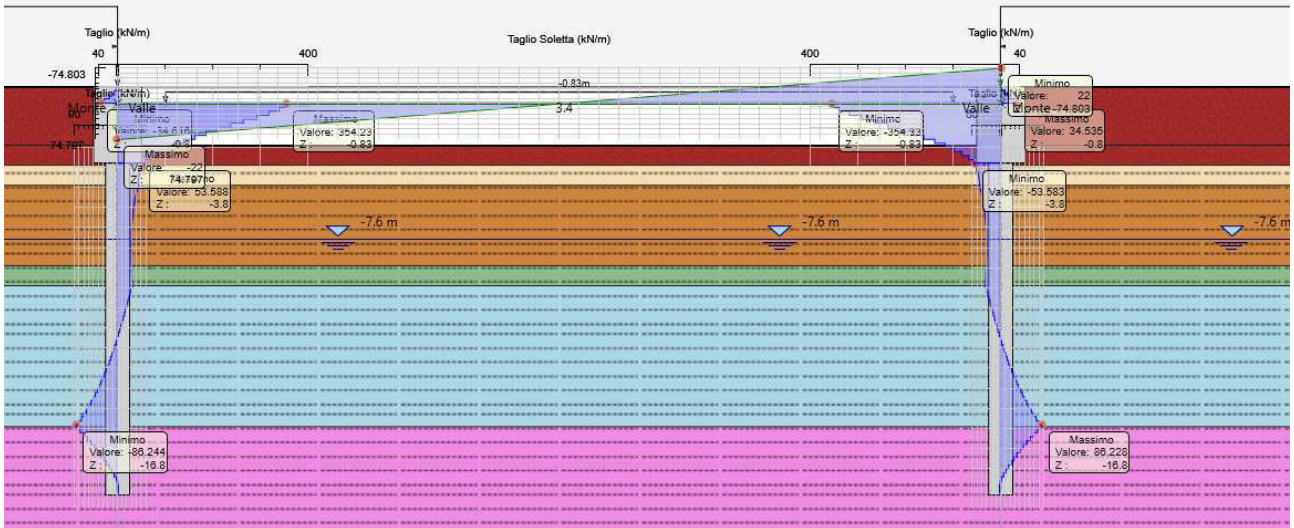


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Applicazione sovraccarico a tergo:



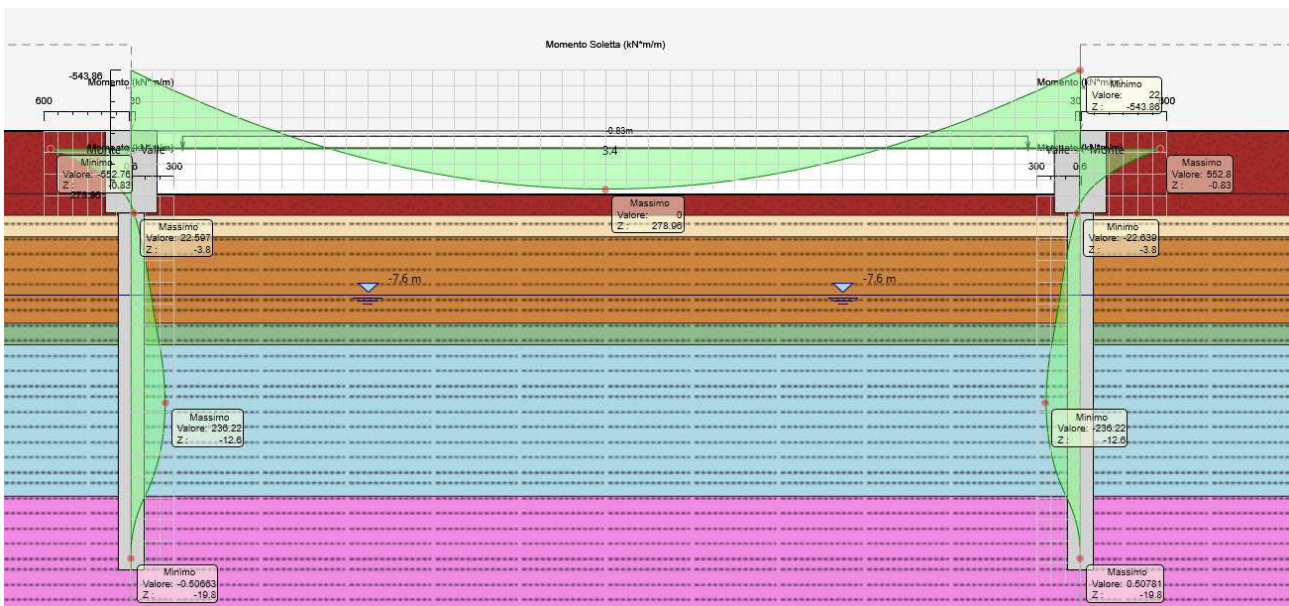
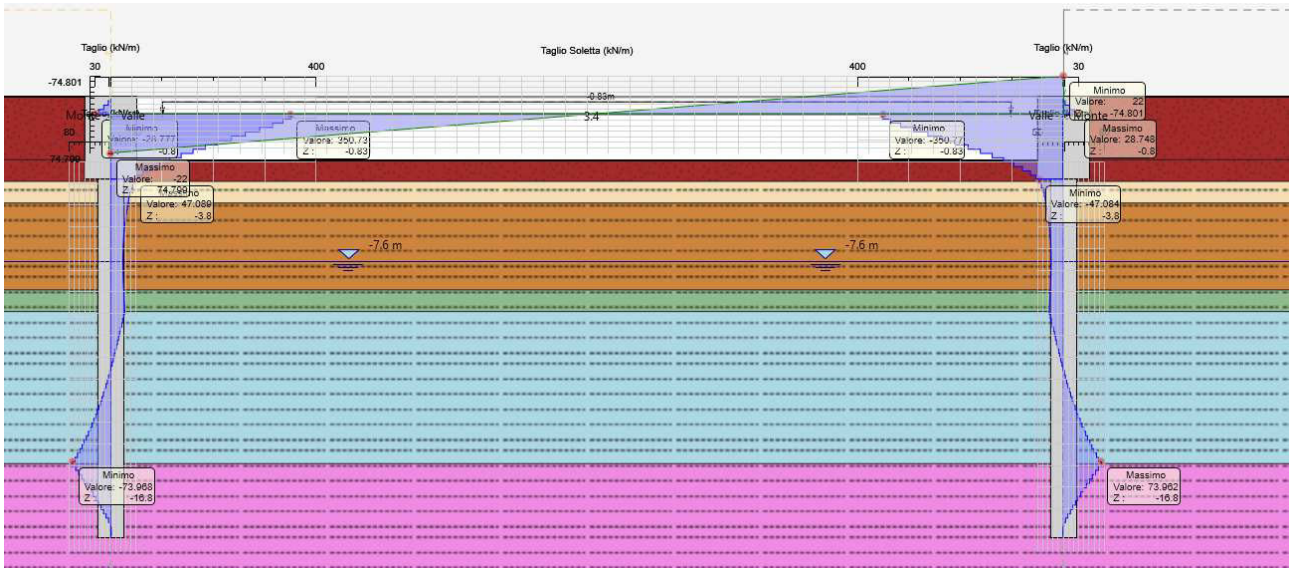


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Scarico:

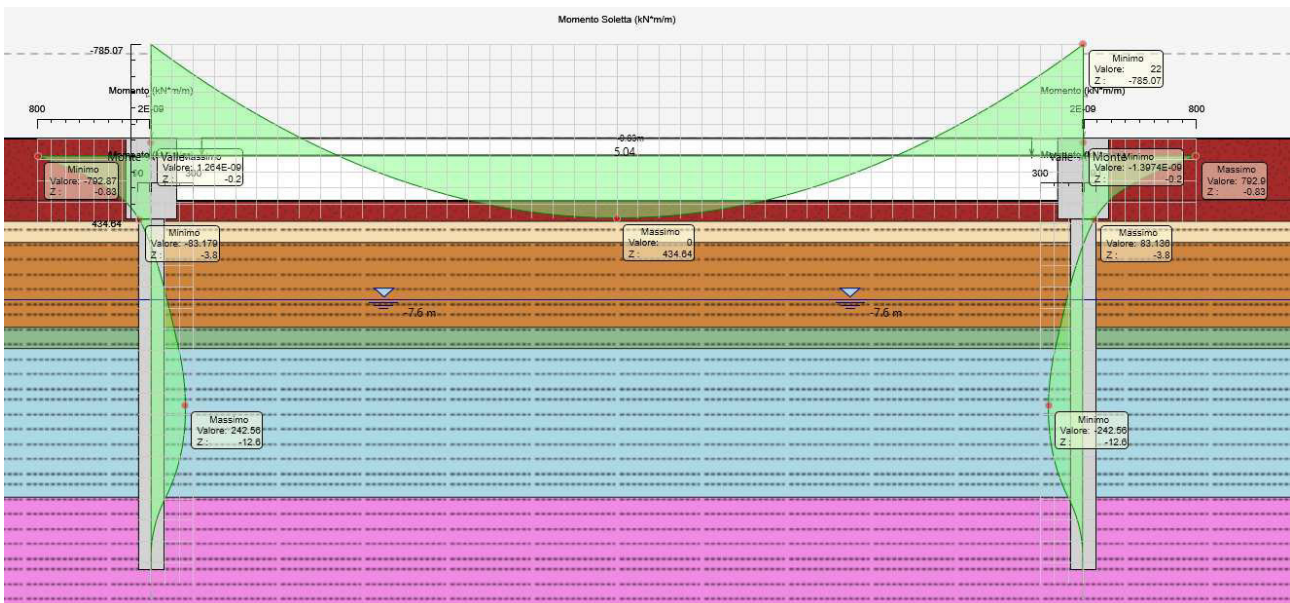
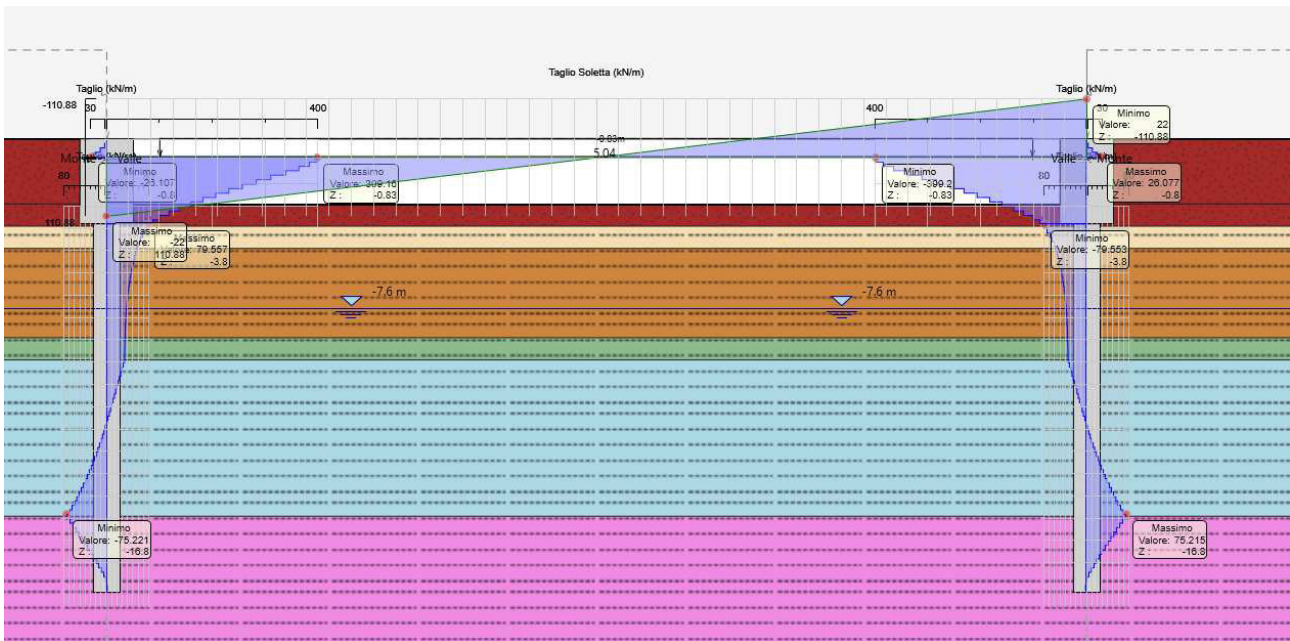


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Azione del vento:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 11.1.3.1. Modello Straus7

Per prima cosa si riporta la determinazione della rigidezza rotazionale applicata nel vincolo in spalla al modello dell'impalcato su Straus7. Per determinare la rigidezza di questa molla si è partiti dai risultati del modello in Paratie.

La rigidezza è stata valutata come:

$$k = \Delta M / \Delta \theta$$

in cui  $\Delta M$  è la differenza tra i momenti flettenti nel nodo di spalla tra due fasi successive, mentre  $\Delta \theta$  è la variazione di rotazione tra le due fasi.



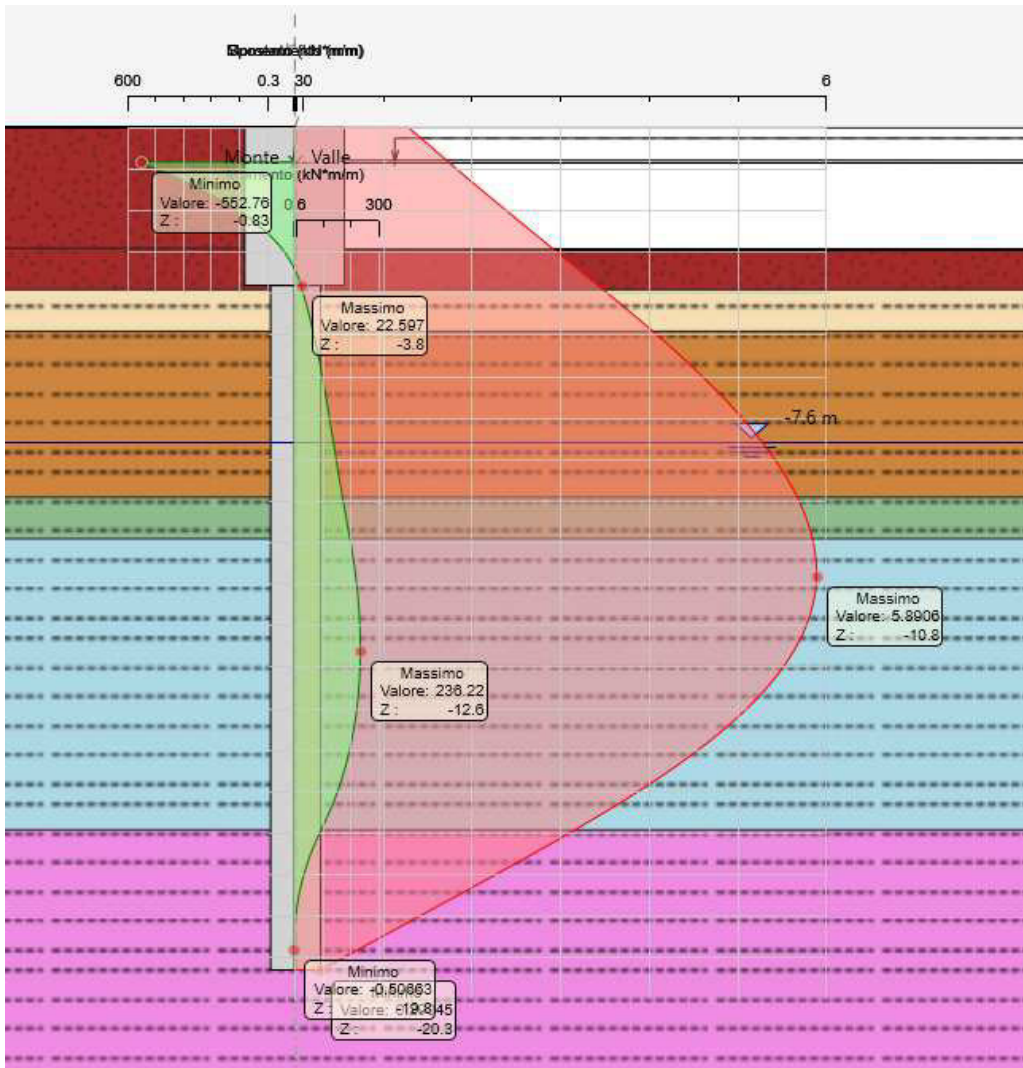
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per quanto riguarda i carichi a breve termine si riporta di seguito il diagramma di momento e spostamento del corpo spalla:

- Fase 1 (ponte scarico):



$$M_1 = 552 \text{ kNm/m}$$

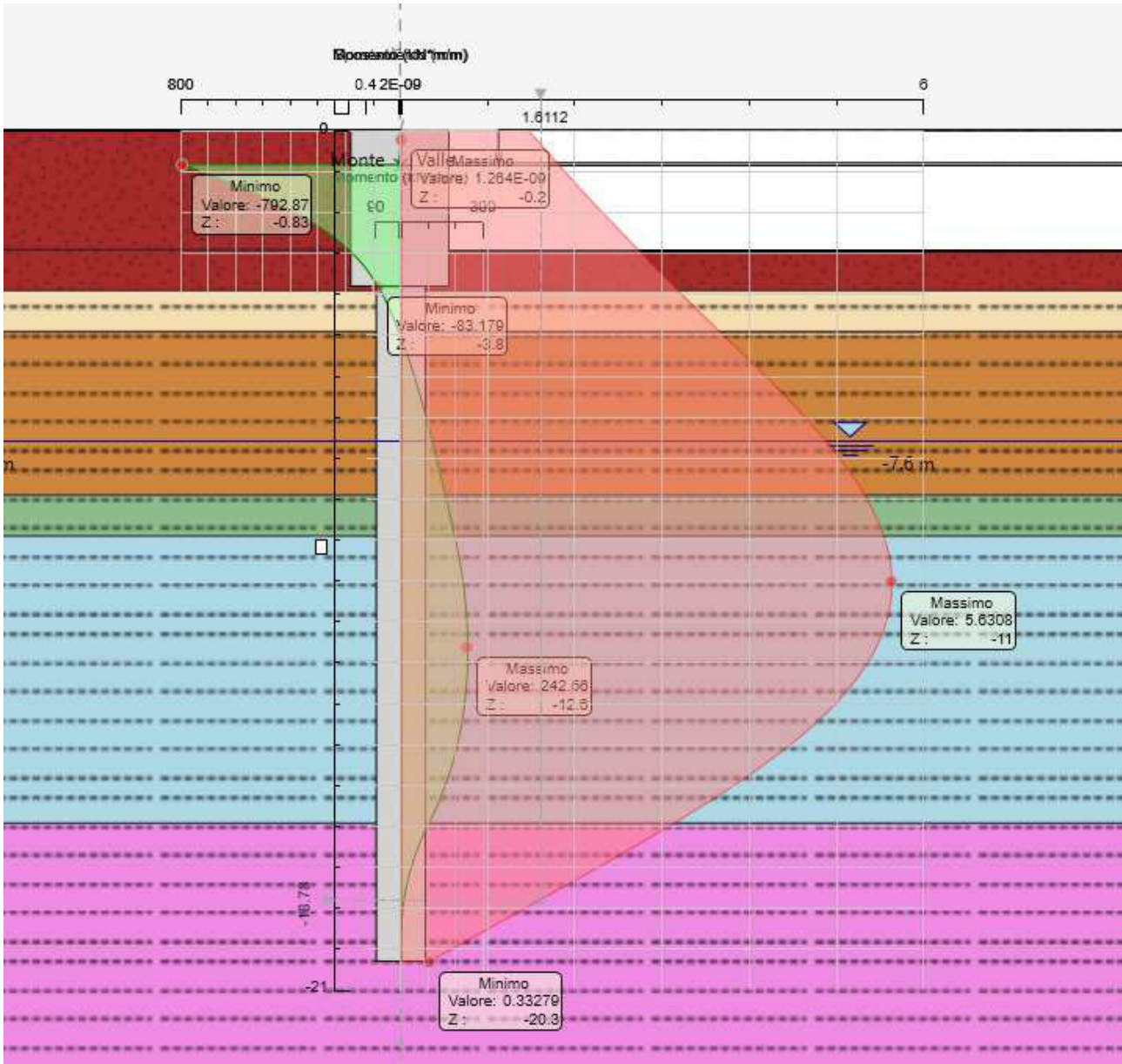
$$\Theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{0.174 - 0.129}{83} \right) = 0.031^\circ = 5.41 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Fase 2 (carichi distribuito su impalcato):



$$M_1 = 792 \text{ kNm/m}$$

$$\Theta_1 = \tan^{-1} ((0.181-0.147)/83) = 0.0235^\circ = 4.1 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

Risulta quindi:

$$k = (792-552) / (5.41\text{e}^{-4} - 4.1\text{e}^{-4}) = 1832000 \text{ kNm/rad}$$

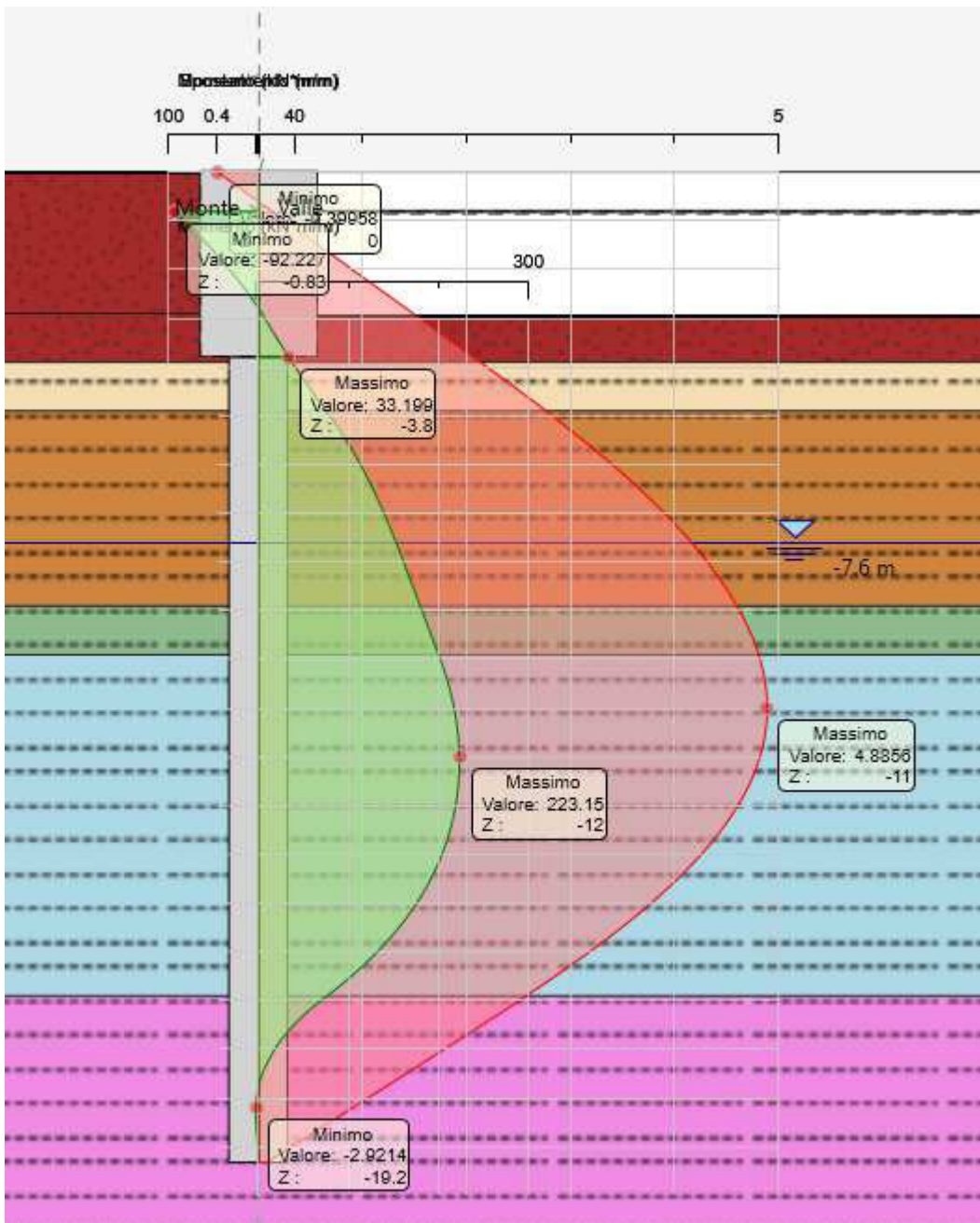
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per quanto riguarda i carichi a lungo termine si riporta di seguito il diagramma di momento e spostamento del corpo spalla:

- Fase 1 (ponte scarico):



$$M_2 = 92 \text{ kNm/m}$$

$$\Theta_2 = \tan^{-1} ((0.036+0.0075)/83) = 0.0197^\circ = 3.44 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

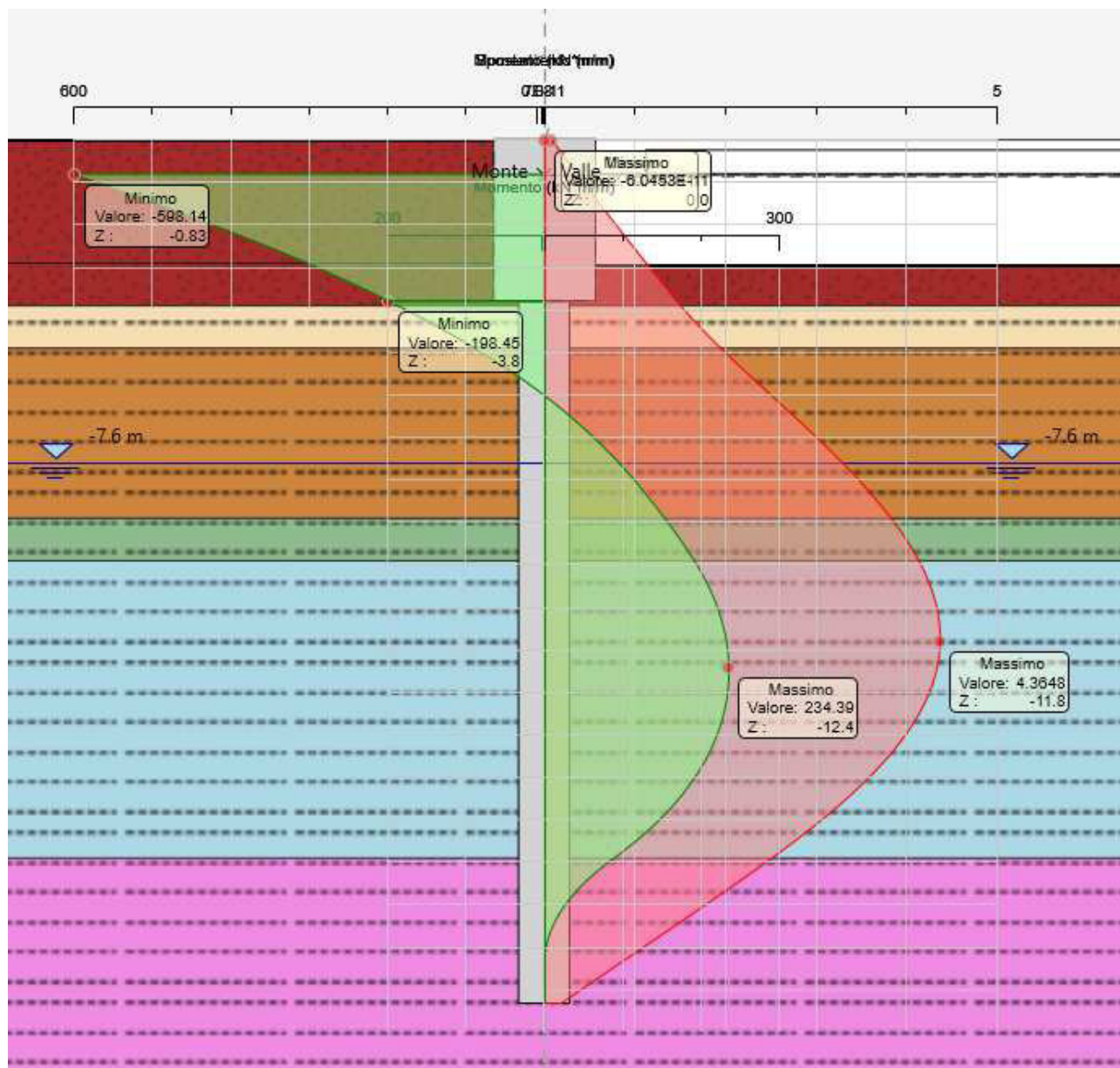


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Fase 2 (carichi distribuito su impalcato):



$$M_2 = 598 \text{ kNm/m}$$

$$\Theta_2 = \tan^{-1} ((0.013+0.004)/83) = 0.0365^\circ = 6.37 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

Risulta quindi:

$$k = (598-92) / (6.37\text{e}^{-4} - 3.44\text{e}^{-4}) = 1727000 \text{ kNm/rad}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

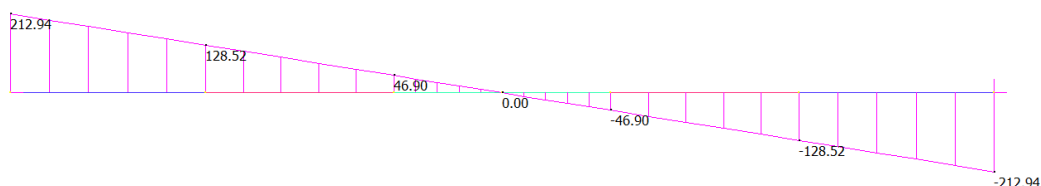
Documento

Relazione di calcolo strutturale

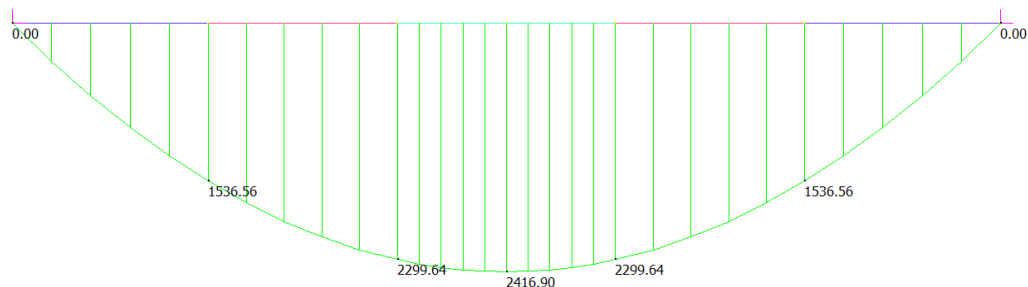
Note quindi le rigidezze da inserire nel modello Straus7 si riportano di seguito i diagrammi calcolati. Si specifica che i risultati sono relativi ad un metro di profondità quindi per riportarsi con le sollecitazioni a trave è necessario moltiplicare per l'afferenza della singola trave pari a 4.15m.

- Pesì Strutturali:

	MIN	MAX
SF2(kN)	-212.94	212.94
	[Bm:5]	[Bm:1]

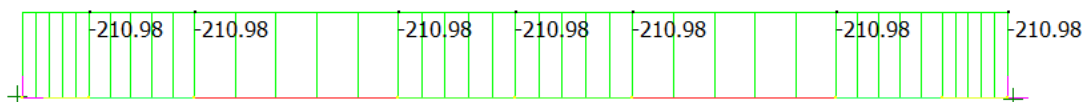


	MIN	MAX
BM2(kN.m)	0.00	2416.90
	[Bm:5]	[Bm:3]



- Ritiro iperstatico:

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-210.98	0.00
	[Bm:11]	[Bm:1]



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

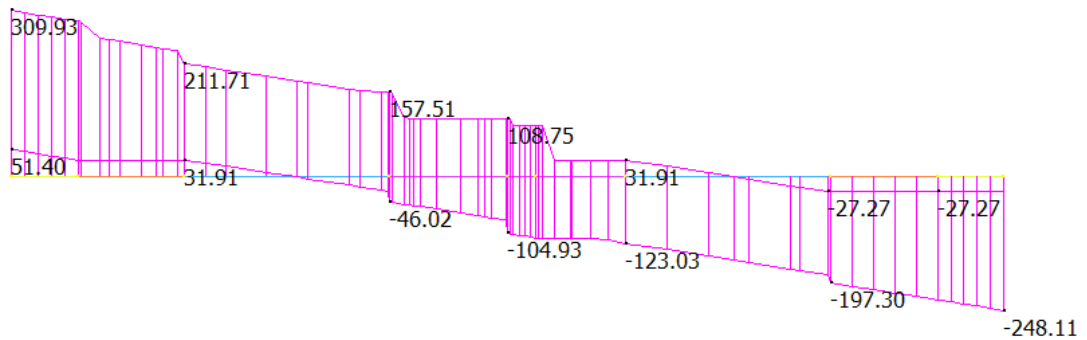
- Variazione termica giornaliera iperstatica:

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-247.68	0.00
	[Bm:19]	[Bm:1]

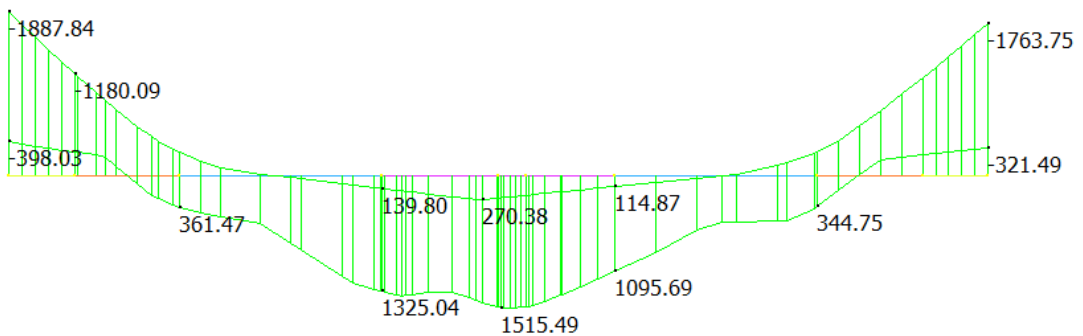


- Traffico:

	MIN	MAX
SF2(kN)	-248.11	309.93
	[Bm:17]	[Bm:22]



	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-1887.84	1515.49
	[Bm:22]	[Bm:19]



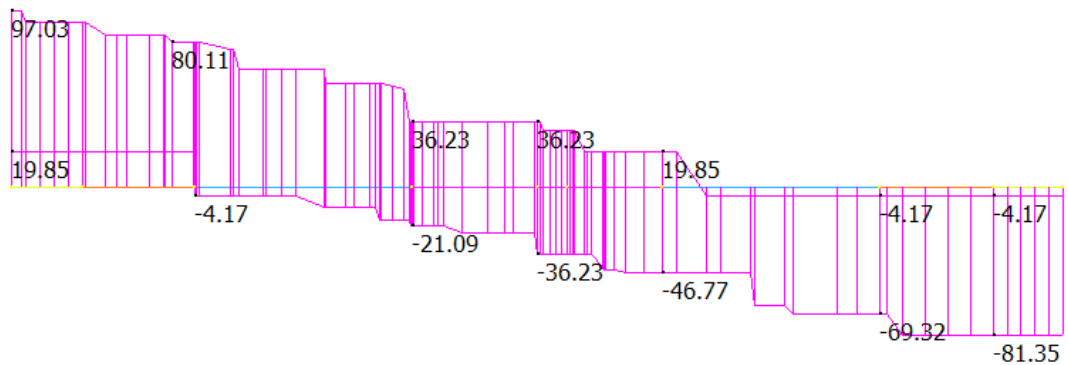
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

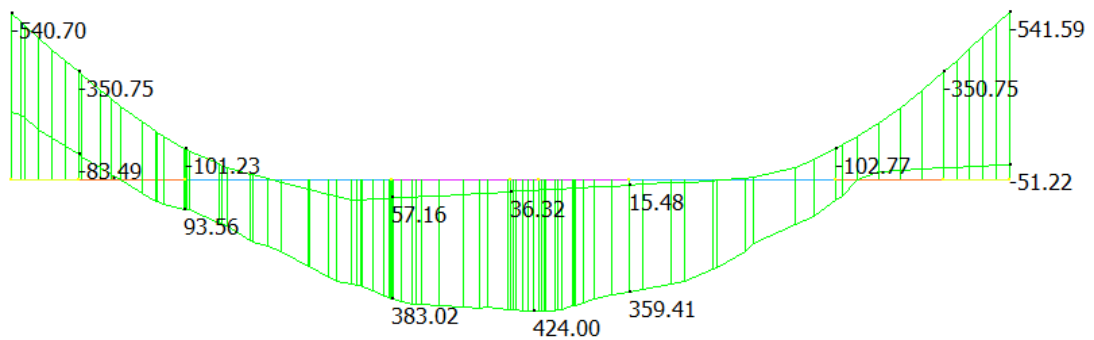
Relazione di calcolo strutturale

- Fatica:

	MIN	MAX
SF2(kN)	-81.35	97.03
	[Bm:23]	[Bm:22]



	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-541.59	424.00
	[Bm:17]	[Bm:19]



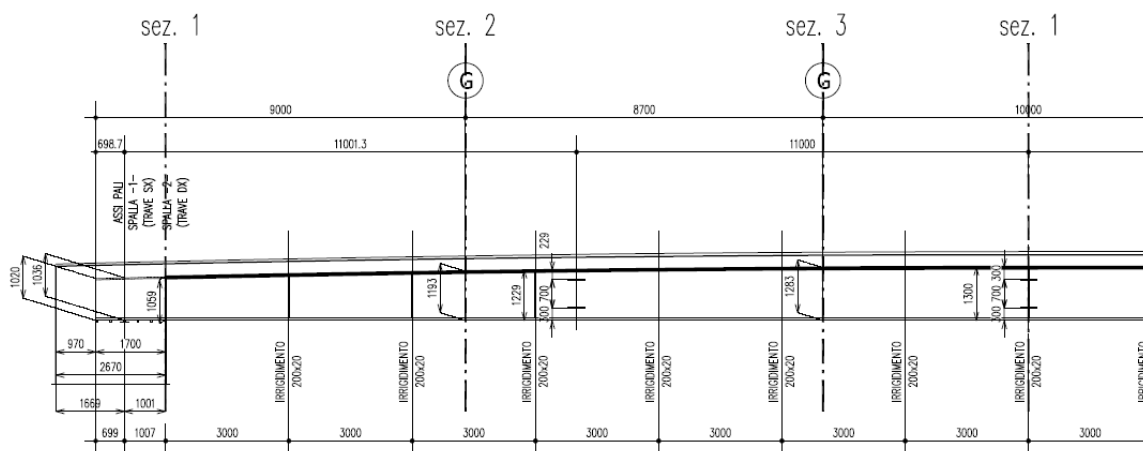
### 11.1.4. Sezioni di verifica significative

Le sezioni significative per le verifiche strutturali delle travi principali sono evidenziate nel seguito:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



PICOLATURA (#22 - h=200)	5/200			3/200			3/200		
TIPOLOGIA SEZIONE	SEZIONE TIPO A			SEZIONE TIPO B			SEZIONE TIPO C		
PIATTABANDA SUPERIORE (mm)	600x45			600x60			600x65		
SALDATURA P. SUP. - ANIMA (mm)	16x16			13x13			12x12		
h TRAVE / SP. ANIMA (mm)	var. 1020=1193 / 22			var. 1193=1283 / 18			var. 1283=1292 / 16		
SALDATURA P. INF. - ANIMA (mm)	16x16			13x13			12x12		
PIATTABANDA INFERIORE (mm)	950x45			950x65			950x75		
ELEMENTO DI BORDO (mm)	L=2400	L=2400	L=2400	L=2400	L=2400	L=2400	L=2400	L=2400	L=2400
TRAVERSI IN CAMPATA	piattabanda superiore			400x20			400x20		
	h traverso / sp anima			h.700x12			h.700x12		
	piattabanda inferiore			400x20			400x20		
- CONTROMONTE - 1:100/1:500	+0mm			+220mm			+340mm		

Definendo un ipotetico sistema di riferimento con asse "x" in direzione dello sviluppo longitudinale dell'impalcato, posizionato in asse tracciamento, con origine sull'asse appoggio della spalla A, le sezioni di verifica prese in considerazione per la trave longitudinale sono le seguenti:

- Sez. 1 in asse spalla ( $x=0.00\text{m}$ );
- Sez. 2a e 2b di cambio concio ( $x=9.00\text{m}$ );
- Sez. 3a e 3b di cambio concio ( $x=17.70\text{m}$ );
- Sez. 4 di mezzzeria ( $x=22.70\text{m}$ ).

La dicitura a e b nella nomenclatura della sezione, significa che si è studiata la sezione immediatamente a sinistra (a) e a destra (b) rispetto l'ascissa di calcolo. Ovvero con le medesime sollecitazioni si è verificato il concio precedente e successivo.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

---

Le sezioni di verifica sono state scelte in funzione delle massime sollecitazioni riscontrate dal modello di calcolo e risultano essere le più significative tra tutte quelle analizzate. Sono state considerate la sezione in asse spalla, quella di cambio concio e la sezione di momento massimo positivo in campata.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**11.1.5. Sollecitazioni di calcolo**

Si riporta una tabella sintetica con le sollecitazioni elementari agenti nelle varie sezioni:

<b>Sez. 1</b>			
<b>X = 0.00m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>		883.95	
<b>Distorsione</b>			
<b>Perm. Portati e spinte</b>	639.10	310.42	-2,477.55
<b>Ritiro iper</b>		0.00	-875.65
<b>Traffico</b>	1,411.00	1,282.35	-7,835.20
<b>ΔT Diff iper</b>		0.00	-1,025.05
<b>ΔT Uniforme</b>	1,514.75	0	-705.5
<b>Cedim.</b>			
<b>Vento</b>	190.90	149.40	-1,004.30
<b>Fatica+</b>	423.30	402.55	0.00
<b>Fatica-</b>		0.00	-2,241.00

<b>Sez. 2a</b>			
<b>X = 8.30m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>		531.20	6,374.40
<b>Distorsione</b>			
<b>Perm. Portati e spinte</b>	639.10	199.20	-464.80
<b>Ritiro iper</b>		0.00	-875.65
<b>Traffico</b>	1,411.00	875.65	1,498.15
<b>ΔT Diff iper</b>		0.00	-1,025.05

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\Delta T$ Uniforme	1,514.75	0	-705.5
Cedim.			
Vento	190.90	99.60	-29.05
Fatica+	423.30	332.00	385.95
Fatica-		-16.60	-419.15

<b>Sez. 2b</b>			
<b>X = 8.30m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>	0.00	531.20	6,374.40
<b>Distorsione</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Perm. Portati e spinte</b>	639.10	199.20	-464.80
<b>Ritiro iper</b>	0.00	0.00	-875.65
<b>Traffico</b>	1,411.00	875.65	1,498.15
$\Delta T$ Diff iper	0.00	0.00	-1,025.05
$\Delta T$ Uniforme	1,514.75	0.00	-705.50
Cedim.	0.00	0.00	0.00
Vento	190.90	99.60	-29.05
Fatica+	423.30	332.00	385.95
Fatica-		-16.60	-419.15

<b>Sez. 3a</b>			
<b>X = 17.00m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>		195.05	9,540.85
<b>Distorsione</b>			
<b>Perm. Portati e spinte</b>	639.10	74.70	933.75
<b>Ritiro iper</b>		0.00	-875.65



**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Traffico	1,411.00	651.55	5,498.75
$\Delta T$ Diff iper		0.00	-1,025.05
$\Delta T$ Uniforme	1,514.75	0	0
Cedim.			
Vento	190.90	37.35	556.10
Fatica+	423.30	149.40	1,589.45
Fatica-		-87.15	0.00

<b>Sez. 3b</b>			
<b>X = 17.00m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>	0.00	195.05	9,540.85
<b>Distorsione</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Perm. Portati e spinte</b>	639.10	74.70	933.75
<b>Ritiro iper</b>	0.00	0.00	-875.65
<b>Traffico</b>	1,411.00	651.55	5,498.75
$\Delta T$ Diff iper	0.00	0.00	-1,025.05
$\Delta T$ Uniforme	1,514.75	0.00	0.00
Cedim.	0.00	0.00	0.00
Vento	190.90	37.35	556.10
Fatica+	423.30	149.40	1,589.45
Fatica-	0.00	-87.15	0.00

<b>Sez. 4</b>			
<b>X = 22.00m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>			10,026.40
<b>Distorsione</b>			

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

---

<b>Perm. Portati e spinte</b>	639.10	0.00	933.75
<b>Ritiro iper</b>		0.00	-875.65
<b>Traffico</b>	1,411.00	460.65	6,287.25
<b><math>\Delta T</math> Diff iper</b>		0.00	-1,025.05
<b><math>\Delta T</math> Uniforme</b>	1,514.75	0	-171
<b>Cedim.</b>			
<b>Vento</b>	190.90	0.00	659.85
<b>Fatica+</b>	423.30	153.55	1,759.60
<b>Fatica-</b>		153.55	0.00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 11.1.6. Verifiche strutturali travi

Di seguito sono riportate le classificazioni delle sezioni in accordo a quanto espresso in EN 1994-2\_5.5.1, eseguite al termine della fase 3 in funzione delle sollecitazioni globali  $N_{Ed}$  ed  $M_{Ed}$ .

Tendenzialmente le sezioni a momento positivo risultano avere l'asse neutro che ricade circa all'altezza dell'interfaccia tra piattabanda superiore e soletta, essendo che la soletta risulta non fessurata e quindi interamente reagente, per cui l'intera trave in acciaio risulta tesa (ad esclusione eventualmente della piattabanda superiore che comunque è piolata alla soletta e quindi stabile) e quindi non soggetta a fenomeni di instabilità locale; mentre al contrario le sezioni a momento negativo sono caratterizzate da un asse neutro posizionato circa a metà altezza della trave in acciaio, per cui parte dell'anima e la piattabanda inferiore risultano compresse e quindi potenzialmente ricadenti in classe 4.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.6.1. Section Sez. 1\_1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	1060 mm
Top flange	600x45 mm
Bottom flange	950x50 mm
Web	22x965 mm, Skew: 0
Slab	4150x240 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 26 mm, bar spacing 100 mm, dist. top slab face-bar centre 50 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 25 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 2 mm
Studs	diameter 22 mm, height 200 mm, number 25/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	200x20 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	9.573E+4	1.938E+5	1.938E+5	1.938E+5	3.045E+5	1.385E+5
z <sub>G</sub> (mm)	423.117	801.528	801.528	801.528	939.096	650.28
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	1.964E+10	4.738E+10	4.738E+10	4.738E+10	5.8E+10	3.602E+10
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-4.641E+7	-5.911E+7	-5.911E+7	-5.911E+7	-6.176E+7	-5.539E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-5.263E+7	-6.304E+7	-6.304E+7	-6.304E+7	-6.523E+7	-6E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.318E+7	2.219E+8	2.219E+8	2.219E+8	7.641E+8	9.876E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.083E+7	1.833E+8	1.833E+8	1.833E+8	4.797E+8	8.791E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.833E+8	1.833E+8	1.833E+8	4.797E+8	8.791E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.815E+8	1.815E+8	1.815E+8	4.7E+8	8.738E+7
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.056E+8	1.056E+8	1.056E+8	1.865E+8	6.006E+7
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	9.504E+7	9.504E+7	9.504E+7	1.607E+8	5.544E+7
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.891E+7	3.689E+7	3.689E+7	3.689E+7	4.342E+7	2.97E+7
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.044E+7	4.31E+7	4.31E+7	4.31E+7	5.211E+7	3.366E+7
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.659E+7	4.26E+7	4.26E+7	4.26E+7	5.205E+7	3.22E+7
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.725E-9	3.623E+7	3.623E+7	3.623E+7	4.939E+7	2.175E+7
nE	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	5.01E+6	1276.33	1300	1252.65
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	1.93E+7	1156.17	1247.35	1064.99
Concrete layer below top reinforcing bars	6.565E+2	1060	1060.01	1060
Top reinforcing bars	8.622E+6	1250	1252.65	1247.35
Bottom reinforcing bars	8.099E+6	1062.5	1064.99	1060.01
Concrete haunch slab	0E+00	1060	1060	1060
Top flange of steel beam	9.129E+6	1037.5	1060	1015
Web of steel beam	7.178E+6	532.5	1015	50

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bottom flange of steel beam	1.606E+7	25	50	0
Ultimate compression force for the full section	-7.34E+7			
Ultimate tension force for the full section	4.909E+7			
Ultimate compression force for the web less section	-6.622E+7			
Ultimate tensile force for the web less section	4.191E+7			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	6.422	0.814	0	0
Bottom flange	9.28	0.814	0	0

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	43.864	0.814	0	0	0
Sagging bending moment (M-)	43.864	0.814	0	0	0
Compression (N)	43.864	0.814	1	1	0

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.19E+6	0E+00	0E+00
2a	8.63E+5	4.19E+5	3.34E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	1.05E+6	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	1.36E+6	0E+00	6.35E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.08E+6	1.87E+6	1.15E+7	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	43.86	0	NaN	0	1
Top flange	6.42				0
Bottom flange	9.28				0
Section class					1

Plastic analysis: APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
$N_{Ed}$ (N)	0E+00	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00	$N_{Ed}$ (N)	0E+00
$N_{Rd}$ (N)	-7.34E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	-2.52E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00
				$M_{Rd}$ (Nm)	0E+00
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	NaN

CHECK FAILED

### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 43.864 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = N$

With:

$$a/h_w = 3.109, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 0$$

web contribution:  $V_{bw,Rd} = N$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = N$   
 $\chi_w = 0, \quad \lambda_w = \text{NaN}, \quad \tau_{cr} = \text{NaN}, \quad C = \text{NaN}$   
 $M_{Ed} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = \text{NaN}$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = \text{NaN}, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \text{NaN}, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = \text{NaN}$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.19E+6	0E+00	0E+00
2a	0E+00	4.19E+5	3.34E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	1.6E+6	9.67E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bending resistance - Plastic analysis

**Section classification (Mmin comb.)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	43.86	0	NaN	0	1
Top flange	6.42				0
Bottom flange	9.28				0
Section class					1
Plastic analysis: APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00	N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00
N <sub>Rd</sub> (N)	-7.34E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-2.52E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	0E+00
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	NaN
CHECK FAILED					

Axial force and bending moment stresses of gross cross section

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 43.864 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = N**

With:

a/h<sub>w</sub> = 3.109, η = 1.2, K<sub>τ</sub> = 0  
 web contribution: V<sub>bw,Rd</sub> = N, flanges contribution: V<sub>bf,Rd</sub> = N  
 χ<sub>w</sub> = 0, λ<sub>w</sub> = NaN, τ<sub>cr</sub> = NaN, C = NaN  
 M<sub>Ed</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>f,Rd</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>Ed</sub>/M<sub>f,Rd</sub> = NaN

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = N**

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = NaN, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

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

Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### SLS stresses verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	8.84E+5	0E+00	0E+00
2a	6.39E+5	3.1E+5	2.48E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	9.09E+5	0E+00	4.23E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.02E+6	1.37E+6	8.44E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### SLS stresses verification (Mmin comb.)



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	8.84E+5	0E+00	0E+00
2a	0E+00	3.1E+5	2.48E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	1.19E+6	7.23E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	8.84E+5	0E+00	0E+00
2a	6.39E+5	3.1E+5	2.48E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	7.57E+5	0E+00	3.53E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.06E+6	9.62E+5	5.88E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

		<i>ed</i>		<i>ed</i>		<i>ed</i>			<i>ed</i>		<i>ed</i>		
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	965
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	8.84E+5	0E+00	0E+00
2a	0E+00	3.1E+5	2.48E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	9.62E+5	5.88E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a	Ph. 2a	Ph. 2b	Ph. 2b	Ph. 2c	Ph. 2c	Ph. 2 tot	Ph. 3a	Ph. 3a	Ph. 3b	Ph. 3b	Ph. 3 tot
		Uncrack	Cracked	Uncrack	Cracked	Uncrack	Cracked		Uncrack	Cracked	Uncrack	Cracked	
		ed		ed		ed			ed		ed		

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	965
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	25
Stud diameter, d (mm)	22
Stud height, h (mm)	200
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	36283
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	45

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	109478.22
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	143480.32
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	109478.22

### Elastic assessment at ULS

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	2737
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	4.191E+5	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.939E+7	5.8E+10	0
Phase 3b	1.866E+6	4.939E+7	5.8E+10	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	2737
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	4.191E+5	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.939E+7	5.8E+10	0
Phase 3b	1.597E+6	4.939E+7	5.8E+10	0
Sum				0

*Elastic assessment at ELS*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	3.104E+5	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.939E+7	5.8E+10	0
Phase 3b	1.372E+6	4.939E+7	5.8E+10	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	3.104E+5	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.623E+7	4.738E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.939E+7	5.8E+10	0
Phase 3b	1.193E+6	4.939E+7	5.8E+10	0
Sum				0

**Fatigue limit state verification**

**Forces and moments for steel details and studs (Mmax comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	8.84E+5	0E+00	0E+00
2a	6.39E+5	3.1E+5	2.48E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	4.03E+5	0E+00	0E+00
3b max	0E+00	0E+00	2.24E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Forces and moments for steel details and studs (Mmin comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	8.84E+5	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2a	6.39E+5	3.1E+5	2.48E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	4.03E+5	0E+00	0E+00
3b max	0E+00	0E+00	2.24E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2d Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Main data for partial factors and damage equivalent factors**

Partial factor for steel:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1.35
Bending damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.84 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.36 < 2.052 (Support)
Shear damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	1.84 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.36 (Support)
Data for calculation of $\lambda_1$	Section position:	(Support)
	L span for moment (m):	44
	L span for shear (m):	44
Data for calculation of $\lambda_2$ , $\lambda_{v2}$	$Q_0$ (kN)	480
	$N_0$	500000
	$N_{obs}$	125000
	$Q_{mi}$ (kN)	0
	Traffic category (Table 4.5n - EN 1991-2) :	Main roads with low flow rates of lorries
	Traffic distribution (Table 4.7 -	Medium distance (40% Q1, 10% Q2, 30% Q3, 15% Q4, 5%

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	EN 1991-2) :	Q5)
Data for calculation of $\lambda_3$ , $\lambda_{v3}$	Design life (years):	100
Data for calculation of $\gamma_{Mf}$ for steel:	Assessment method:	
	Consequence of failure:	
Damage equivalent factor for studs:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.753 x 1 x 1.09 = 1.273
Partial factor for studs:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1

Fatigue assessment of structural steel

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding			
Bottom flange welding			
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding			
Bottom flange welding			
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

Fatigue assessment of studs

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	= 1*0/(90/1) = 0
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	= 1*0/(80/1.35) = 0(*)
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	= 0+0=0(*)
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	= 1*0/(90/1) = 0
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	= 1*0/(80/1.35) = 0(*)
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	= 0+0=0(*)



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

CHECK PASSED

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

## **Stiffeners checks**

### Torsional buckling of vertical stiffeners

	<i>Vertical stiffeners</i>
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$I_{cr}$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	5.333E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	5.347E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 5.098E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 7.706E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 22 \text{ mm} \quad b_w = 557 \text{ mm} \quad A_{st} = 16253.7 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 27.3 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 965 \text{ mm} \quad a/h_w = 3.109$$

### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

Check not available

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.6.2.      Section Sez. 2a 1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	1190 mm
Top flange	600x45 mm
Bottom flange	950x45 mm
Web	22x1100 mm, Skew: 0
Slab	4150x240 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 16 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 50 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 22 mm, height 200 mm, number 15/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	200x20 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	9.395E+4	1.535E+5	1.535E+5	1.535E+5	2.641E+5	9.812E+4
z <sub>G</sub> (mm)	499.025	815.4	815.4	815.4	1022.636	536.483
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	2.445E+10	4.898E+10	4.898E+10	4.898E+10	6.524E+10	2.755E+10
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-4.899E+7	-6.007E+7	-6.007E+7	-6.007E+7	-6.38E+7	-5.135E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-5.385E+7	-6.358E+7	-6.358E+7	-6.358E+7	-6.674E+7	-5.605E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.785E+7	1.486E+8	1.486E+8	1.486E+8	5.332E+8	4.527E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.538E+7	1.308E+8	1.308E+8	1.308E+8	3.898E+8	4.215E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.308E+8	1.308E+8	1.308E+8	3.898E+8	4.215E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	8.676E+7	8.676E+7	8.676E+7	1.826E+8	3.266E+7
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	7.97E+7	7.97E+7	7.97E+7	1.602E+8	3.083E+7
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.037E+7	3.39E+7	3.39E+7	3.39E+7	4.276E+7	2.197E+7
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.264E+7	4.043E+7	4.043E+7	4.043E+7	5.327E+7	2.463E+7
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.805E+7	3.923E+7	3.923E+7	3.923E+7	5.31E+7	2.056E+7
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.725E-9	2.972E+7	2.972E+7	2.972E+7	4.919E+7	3.519E+6
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	5.238E+6	1405.25	1430	1380.5
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	2.005E+7	1284.75	1379.5	1190
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	1190	1190	1190
Top reinforcing bars	1.633E+6	1380	1380.5	1379.5
Bottom reinforcing bars	0E+00	1190	1190	1190
Concrete haunch slab	0E+00	1190	1190	1190
Top flange of steel beam	9.129E+6	1167.5	1190	1145

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Web of steel beam	8.182E+6	595	1145	45
Bottom flange of steel beam	1.364E+7	22.5	45	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-5.787E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	3.258E+7			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-4.969E+7			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	2.44E+7			

**Flanges classification**

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	6.422	0.814	0	0
Bottom flange	10.31 1	0.838	0	0

**Web classification**

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	50	0.814	0	0	0
Sagging bending moment (M-)	50	0.814	0	0	0
Compression (N)	50	0.814	1	1	0

**U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	7.17E+5	-8.61E+6	0E+00
2a	8.63E+5	2.69E+5	6.27E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	1.05E+6	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	1.36E+6	0E+00	6.35E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.08E+6	1.27E+6	-2E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Bending resistance - Plastic analysis**

**Section classification (Mmax comb.)**

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	50	0	NaN	0	1
Top flange	6.42				0
Bottom flange	10.31				0
Section class					1

Plastic analysis: APPLICABLE

**Plastic section verification (Mmax comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00	N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00
N <sub>Rd</sub> (N)	-5.787E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-2.432E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	0E+00
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	NaN

CHECK FAILED

**Axial force and bending moment stresses of gross cross section**

**Stresses of gross cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w=50 < 31/\eta * \epsilon_w *(K_\tau)^{0.5}=0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = N$

With:

$$a/h_w=2.727, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=0$$

web contribution:  $V_{bw,Rd} = N$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = N$   
 $\chi_w=0, \quad \lambda_w=NaN, \quad \tau_{cr}=NaN, \quad C=NaN$   
 $M_{Ed}=0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=NaN$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = NaN, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

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

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	7.17E+5	-8.61E+6	0E+00
2a	0E+00	2.69E+5	6.27E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

3b	0E+00	1.09E+6	-2.05E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

*Bending resistance - Plastic analysis*

**Section classification (Mmin comb.)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	50	0	NaN	0	1
Top flange	6.42				0
Bottom flange	10.31				0
Section class					1

Plastic analysis: APPLICABLE

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00	N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00
N <sub>Rd</sub> (N)	-5.787E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-2.432E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	0E+00
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	NaN

CHECK FAILED

*Axial force and bending moment stresses of gross cross section*

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 50 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = N**

With:

a/h<sub>w</sub> = 2.727, η = 1.2, K<sub>τ</sub> = 0  
 web contribution: V<sub>bw,Rd</sub> = N, flanges contribution: V<sub>bf,Rd</sub> = N  
 χ<sub>w</sub> = 0, λ<sub>w</sub> = NaN, τ<sub>cr</sub> = NaN, C = NaN

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$$M_{Ed} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = \text{NaN}$$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = \mathbf{N}$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = \mathbf{N}$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = \text{NaN}, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \text{NaN}, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = \text{NaN}$$

Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### SLS stresses verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	9.09E+5	0E+00	4.23E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.02E+6	9.35E+5	-1.48E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio: 0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## SLS stresses verification (Mmin comb.)

### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	0E+00	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	8.16E+5	-1.52E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Stresses of gross cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

## SLS web breathing verification (Mmax comb.)

### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	7.57E+5	0E+00	3.53E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.06E+6	6.57E+5	-1.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

### Stresses of effective cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	1100
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	0E+00	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	6.57E+5	-1.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	Web
b (mm)	1100
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	15
Stud diameter, d (mm)	22
Stud height, h (mm)	200
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	36283
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	45

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	109478.22
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	143480.32
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	109478.22

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Elastic assessment at ULS

### Utilization ratio (Mmax comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

### Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	2.689E+5	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2b	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2c	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.919E+7	6.524E+10	0
Phase 3b	1.272E+6	4.919E+7	6.524E+10	0
Sum				0

### Utilization ratio (Mmin comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

### Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	2.689E+5	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2b	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2c	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.919E+7	6.524E+10	0
Phase 3b	1.092E+6	4.919E+7	6.524E+10	0
Sum				0

## Elastic assessment at ELS

### Utilization ratio (Mmax comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

### Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.992E+5	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2b	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2c	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.919E+7	6.524E+10	0
Phase 3b	9.354E+5	4.919E+7	6.524E+10	0
Sum				0

### Utilization ratio (Mmin comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.992E+5	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2b	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 2c	0E+00	2.972E+7	4.898E+10	0
Phase 3a	0E+00	4.919E+7	6.524E+10	0
Phase 3b	8.159E+5	4.919E+7	6.524E+10	0
Sum				0

**Fatigue limit state verification**

**Forces and moments for steel details and studs (Mmax comb.)**

Phase	$N$ (N)	$V$ (N)	$M$ (Nm)	$T$ (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	3.32E+5	-3.86E+5	0E+00
3b max	0E+00	-1.66E+4	4.19E+5	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Forces and moments for steel details and studs (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	3.32E+5	-3.86E+5	0E+00
3b max	0E+00	-1.66E+4	4.19E+5	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Main data for partial factors and damage equivalent factors**

Partial factor for steel:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1.35
Bending damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	$2.21 \times 0.643 \times 1 \times 1.15 = 1.633 < 2$ (Midspan)
Shear damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	$2.474 \times 0.643 \times 1 \times 1.15 = 1.828$ (Midspan)
Data for calculation of $\lambda_1$	Section position:	(Midspan)
	L span for moment (m):	44
	L span for shear (m):	17.6
Data for calculation of $\lambda_2$ , $\lambda_{v2}$	$Q_0$ (kN)	480
	$N_0$	500000
	$N_{obs}$	125000
	$Q_{ml}$ (kN)	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	Traffic category (Table 4.5n - EN 1991-2) :	Main roads with low flow rates of lorries
	Traffic distribution (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Medium distance (40% Q1, 10% Q2, 30% Q3, 15% Q4, 5% Q5)
Data for calculation of $\lambda_3$ , $\lambda_{v3}$	Design life (years):	100
Data for calculation of $\gamma_{Mf}$ for steel:	Assessment method:	
	Consequence of failure:	
Damage equivalent factor for studs:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.753 x 1 x 1.09 = 1.273
Partial factor for studs:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1

### *Fatigue assessment of structural steel*

#### Utilization ratio (Mmax comb.)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.693 \times 90 = 62.37$ N/mm <sup>2</sup>	0	46.179	0
Bottom flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.598 \times 90 = 53.8$ N/mm <sup>2</sup>	0	39.852	0
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

#### Utilization ratio (Mmin comb.)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.693 \times 90 = 62.37$ N/mm <sup>2</sup>	0	46.179	0
Bottom flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.598 \times 90 = 53.8$ N/mm <sup>2</sup>	0	39.852	0
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

### *Fatigue assessment of studs*

#### Utilization ratio (Mmax comb.)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	= 1*0/(90/1) = 0
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	= 1*0/(80/1.35) = 0(*)
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	= 0+0=0(*)
<b>CHECK PASSED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

$\gamma_{Ft} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (90 / 1) = 0$
$\gamma_{Ft} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (80 / 1.35) = 0(*)$
$\gamma_{Ft} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ft} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0 + 0 = 0(*)$
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

**Stiffeners checks**

Torsional buckling of vertical stiffeners

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 * f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$I_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	5.333E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	5.347E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 5.098E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 8.785E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 22 \text{ mm} \quad b_w = 557 \text{ mm} \quad A_{st} = 16253.7 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 27.3 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 1100 \text{ mm} \quad a/h_w = 2.727$$

Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

Check not available



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.6.3.      Section Sez. 2b 1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	1190 mm
Top flange	600x60 mm
Bottom flange	950x65 mm
Web	18x1065 mm, Skew: 0
Slab	4150x240 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 16 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 50 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 22 mm, height 200 mm, number 15/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	200x20 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	1.169E+5	1.764E+5	1.764E+5	1.764E+5	2.871E+5	1.211E+5
z <sub>G</sub> (mm)	472.297	756.496	756.496	756.496	969.857	503.57
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	3.111E+10	5.94E+10	5.94E+10	5.94E+10	8.076E+10	3.443E+10
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-6.588E+7	-7.852E+7	-7.852E+7	-7.852E+7	-8.327E+7	-6.838E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-7.639E+7	-8.59E+7	-8.59E+7	-8.59E+7	-8.926E+7	-7.851E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.731E+7	1.59E+8	1.59E+8	1.59E+8	5.043E+8	5.497E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.335E+7	1.37E+8	1.37E+8	1.37E+8	3.669E+8	5.016E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.37E+8	1.37E+8	1.37E+8	3.669E+8	5.016E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	9.526E+7	9.526E+7	9.526E+7	1.969E+8	3.929E+7
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	8.819E+7	8.819E+7	8.819E+7	1.755E+8	3.717E+7
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.716E+7	4.471E+7	4.471E+7	4.471E+7	5.788E+7	2.909E+7
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.865E+7	4.901E+7	4.901E+7	4.901E+7	6.525E+7	3.082E+7
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.476E+7	4.775E+7	4.775E+7	4.775E+7	6.502E+7	2.729E+7
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.451E-9	3.323E+7	3.323E+7	3.323E+7	5.817E+7	3.656E+6
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	5.238E+6	1405.25	1430	1380.5
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	2.005E+7	1284.75	1379.5	1190
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	1190	1190	1190
Top reinforcing bars	1.633E+6	1380	1380.5	1379.5
Bottom reinforcing bars	0E+00	1190	1190	1190
Concrete haunch slab	0E+00	1190	1190	1190
Top flange of steel beam	1.217E+7	1160	1190	1130

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Web of steel beam	6.481E+6	597.5	1130	65
Bottom flange of steel beam	1.97E+7	32.5	65	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-6.528E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	3.999E+7			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-5.88E+7			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	3.351E+7			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	4.85	0.814	0	0
Bottom flange	7.169	0.838	0	0

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	59.167	0.814	0	0	0
Sagging bending moment (M-)	59.167	0.814	0	0	0
Compression (N)	59.167	0.814	1	1	0

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	7.17E+5	-8.61E+6	0E+00
2a	8.63E+5	2.69E+5	6.27E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	1.05E+6	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	1.36E+6	0E+00	6.35E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.08E+6	1.27E+6	-2E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	59.17	0	NaN	0	1
Top flange	4.85				0
Bottom flange	7.17				0
Section class					1

Plastic analysis: APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00	N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00
N <sub>Rd</sub> (N)	-6.528E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-3.019E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	0E+00
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	NaN

CHECK FAILED

### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_s$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 59.167 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = N$

With:

$$a/h_w = 2.817, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 0$$

web contribution:  $V_{bw,Rd} = N$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = N$   
 $\chi_w = 0, \quad \lambda_w = \text{NaN}, \quad \tau_{cr} = \text{NaN}, \quad C = \text{NaN}$   
 $M_{Ed} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = \text{NaN}$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = \text{NaN}, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \text{NaN}, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = \text{NaN}$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	7.17E+5	-8.61E+6	0E+00
2a	0E+00	2.69E+5	6.27E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	1.09E+6	-2.05E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bending resistance - Plastic analysis

**Section classification (Mmin comb.)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	59.17	0	NaN	0	1
Top flange	4.85				0
Bottom flange	7.17				0
Section class					1
Plastic analysis: APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00	N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00
N <sub>Rd</sub> (N)	-6.528E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-3.019E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	0E+00
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	NaN
CHECK FAILED					

Axial force and bending moment stresses of gross cross section

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 59.167 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = N**

With:

a/h<sub>w</sub> = 2.817, η = 1.2, K<sub>τ</sub> = 0  
web contribution: V<sub>bw,Rd</sub> = N, flanges contribution: V<sub>bf,Rd</sub> = N  
χ<sub>w</sub> = 0, λ<sub>w</sub> = NaN, τ<sub>cr</sub> = NaN, C = NaN  
M<sub>Ed</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>f,Rd</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>Ed</sub>/M<sub>f,Rd</sub> = NaN

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = \text{NaN}, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \text{NaN}, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = \text{NaN}$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### SLS stresses verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	9.09E+5	0E+00	4.23E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.02E+6	9.35E+5	-1.48E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### SLS stresses verification (Mmin comb.)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	0E+00	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	8.16E+5	-1.52E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Stresses of gross cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### SLS web breathing verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	7.57E+5	0E+00	3.53E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.06E+6	6.57E+5	-1.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a	Ph. 2a	Ph. 2b	Ph. 2b	Ph. 2c	Ph. 2c	Ph. 2 tot	Ph. 3a	Ph. 3a	Ph. 3b	Ph. 3b	Ph. 3 tot
--	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----------	--------	--------	--------	--------	-----------

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	Uncrack ed	Crack ed	Uncrack ed	Crack ed	Uncrack ed	Crack ed	Uncrack ed	Crack ed	Uncrack ed	Crack ed	Uncrack ed	Crack ed	Uncrack ed	Crack ed
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	1065
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	0E+00	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	6.57E+5	-1.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a	Ph. 2a	Ph. 2b	Ph. 2b	Ph. 2c	Ph. 2c	Ph. 2 tot	Ph. 3a	Ph. 3a	Ph. 3b	Ph. 3b	Ph. 3 tot
	Uncrack	Crack ed	Uncrack	Crack ed	Uncrack	Crack ed	Uncrack	Crack ed	Uncrack	Crack ed	Uncrack	Crack ed	Crack ed



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>	<i>ed</i>
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	1065
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	15
Stud diameter, d (mm)	22
Stud height, h (mm)	200
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	36283
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	45

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	109478.22
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	143480.32
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	109478.22

#### Elastic assessment at ULS

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

### Utilization ratio (Mmax comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

### Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	2.689E+5	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 3a	0E+00	5.817E+7	8.076E+10	0
Phase 3b	1.272E+6	5.817E+7	8.076E+10	0
Sum				0

### Utilization ratio (Mmin comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

### Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	2.689E+5	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 3a	0E+00	5.817E+7	8.076E+10	0
Phase 3b	1.092E+6	5.817E+7	8.076E+10	0
Sum				0

### Elastic assessment at ELS

### Utilization ratio (Mmax comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

### Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.992E+5	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 3a	0E+00	5.817E+7	8.076E+10	0
Phase 3b	9.354E+5	5.817E+7	8.076E+10	0
Sum				0

### Utilization ratio (Mmin comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**CHECK VERIFIED**

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	1.992E+5	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.323E+7	5.94E+10	0
Phase 3a	0E+00	5.817E+7	8.076E+10	0
Phase 3b	8.159E+5	5.817E+7	8.076E+10	0
Sum				0

**Fatigue limit state verification**

**Forces and moments for steel details and studs (Mmax comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	3.32E+5	-3.86E+5	0E+00
3b max	0E+00	-1.66E+4	4.19E+5	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Forces and moments for steel details and studs (Mmin comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
-------	---------	---------	----------	----------

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

1	0E+00	5.31E+5	-6.37E+6	0E+00
2a	6.39E+5	1.99E+5	4.65E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	3.32E+5	-3.86E+5	0E+00
3b max	0E+00	-1.66E+4	4.19E+5	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2d Uncracked	Ph. 2d Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Main data for partial factors and damage equivalent factors**

Partial factor for steel:	$\gamma_{Ft}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1.35
Bending damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.21 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.633 < 2 (Midspan)
Shear damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.474 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.828 (Midspan)
Data for calculation of $\lambda_1$	Section position:	(Midspan)
	L span for moment (m):	44
	L span for shear (m):	17.6
Data for calculation of $\lambda_2$ , $\lambda_{v2}$	$Q_0$ (kN)	480
	$N_0$	500000
	$N_{obs}$	125000
	$Q_{ml}$ (kN)	0
	Traffic category (Table 4.5n - EN 1991-2) :	Main roads with low flow rates of lorries

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	Traffic distribution (Table 4.7 - EN 1991-2) :	Medium distance (40% Q1, 10% Q2, 30% Q3, 15% Q4, 5% Q5)
Data for calculation of $\lambda_{v3}$	Design life (years):	100
Data for calculation of $\gamma_{Mf}$ for steel:	Assessment method:	
	Consequence of failure:	
Damage equivalent factor for studs:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	$1.55 \times 0.753 \times 1 \times 1.09 = 1.273$
Partial factor for studs:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1

### Fatigue assessment of structural steel

#### Utilization ratio (Mmax comb.)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.f.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.577 \times 90 = 51.90$ N/mm <sup>2</sup>	0	38.468	0
Bottom flange welding			
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

#### Utilization ratio (Mmin comb.)

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.f.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.577 \times 90 = 51.90$ N/mm <sup>2</sup>	0	38.468	0
Bottom flange welding			
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

### Fatigue assessment of studs

#### Utilization ratio (Mmax comb.)

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (90 / 1) = 0$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (80 / 1.35) = 0 (*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0 + 0 = 0 (*)$
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

#### Utilization ratio (Mmin comb.)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\gamma_{Ft} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (90 / 1) = 0$
$\gamma_{Ft} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (80 / 1.35) = 0 (*)$
$\gamma_{Ft} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ft} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0 + 0 = 0 (*)$
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

## Stiffeners checks

### Torsional buckling of vertical stiffeners

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$\phi * f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$l_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	5.333E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	5.347E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 4.559E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 4.658E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 18 \text{ mm} \quad b_w = 459.4 \text{ mm} \quad A_{st} = 12268.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 35.5 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 1065 \text{ mm} \quad a/h_w = 2.817$$

### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

Check not available

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.6.4. Section Sez. 3a 1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	1280 mm
Top flange	600x60 mm
Bottom flange	950x65 mm
Web	18x1155 mm, Skew: 0
Slab	4150x240 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 16 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 50 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 22 mm, height 200 mm, number 15/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	200x20 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	1.185E+5	1.78E+5	1.78E+5	1.78E+5	2.887E+5	1.227E+5
z <sub>G</sub> (mm)	509.233	808.58	808.58	808.58	1035.278	541.897
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	3.65E+10	6.857E+10	6.857E+10	6.857E+10	9.297E+10	4.022E+10
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-7.168E+7	-8.48E+7	-8.48E+7	-8.48E+7	-8.98E+7	-7.422E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-8.217E+7	-9.221E+7	-9.221E+7	-9.221E+7	-9.582E+7	-8.434E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.136E+7	1.667E+8	1.667E+8	1.667E+8	5.033E+8	5.932E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.736E+7	1.455E+8	1.455E+8	1.455E+8	3.799E+8	5.449E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.455E+8	1.455E+8	1.455E+8	3.799E+8	5.449E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.037E+8	1.037E+8	1.037E+8	2.139E+8	4.334E+7
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	9.638E+7	9.638E+7	9.638E+7	1.918E+8	4.112E+7
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.944E+7	4.792E+7	4.792E+7	4.792E+7	6.192E+7	3.146E+7
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.121E+7	5.29E+7	5.29E+7	5.29E+7	7.039E+7	3.35E+7
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.667E+7	5.138E+7	5.138E+7	5.138E+7	7.009E+7	2.936E+7
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.725E-9	3.548E+7	3.548E+7	3.548E+7	6.236E+7	3.872E+6
nE	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	5.238E+6	1495.25	1520	1470.5
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	2.005E+7	1374.75	1469.5	1280
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	1280	1280	1280
Top reinforcing bars	1.633E+6	1470	1470.5	1469.5
Bottom reinforcing bars	0E+00	1280	1280	1280
Concrete haunch slab	0E+00	1280	1280	1280
Top flange of steel beam	1.217E+7	1250	1280	1220
Web of steel beam	7.029E+6	642.5	1220	65



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bottom flange of steel beam	1.97E+7	32.5	65	0
Ultimate compression force for the full section	-6.583E+7			
Ultimate tension force for the full section	4.053E+7			
Ultimate compression force for the web less section	-5.88E+7			
Ultimate tensile force for the web less section	3.351E+7			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	4.85	0.814	0	0
Bottom flange	7.169	0.838	0	0

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	64.167	0.814	0	0	0
Sagging bending moment (M-)	64.167	0.814	0	0	0
Compression (N)	64.167	0.814	1	1	0

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	2.63E+5	-1.29E+7	0E+00
2a	8.63E+5	1.01E+5	-1.26E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	1.05E+6	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	1.36E+6	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.08E+6	8.46E+5	-6.92E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	64.17	0	NaN	0	1
Top flange	4.85				0
Bottom flange	7.17				0
Section class					1

Plastic analysis: APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
$N_{Ed}$ (N)	0E+00	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00	$N_{Ed}$ (N)	0E+00
$N_{Rd}$ (N)	-6.583E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	-3.258E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00
				$M_{Rd}$ (Nm)	0E+00
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	NaN

CHECK FAILED

### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 64.167 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = N$

With:

$$a/h_w = 2.597, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 0$$

web contribution:  $V_{bw,Rd} = N$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = N$   
 $\chi_w = 0, \quad \lambda_w = \text{NaN}, \quad \tau_{cr} = \text{NaN}, \quad C = \text{NaN}$   
 $M_{Ed} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = \text{NaN}$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = \text{NaN}, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \text{NaN}, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = \text{NaN}$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	2.63E+5	-1.29E+7	0E+00
2a	0E+00	1.01E+5	-1.26E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	9.13E+5	-7.92E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bending resistance - Plastic analysis

**Section classification (Mmin comb.)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	64.17	0	NaN	0	1
Top flange	4.85				0
Bottom flange	7.17				0
Section class					1
Plastic analysis: APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00	N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00
N <sub>Rd</sub> (N)	-6.583E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-3.258E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	0E+00
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	NaN
CHECK FAILED					

Axial force and bending moment stresses of gross cross section

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 64.167 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = N**

With:

a/h<sub>w</sub> = 2.597, η = 1.2, K<sub>τ</sub> = 0  
web contribution: V<sub>bw,Rd</sub> = N, flanges contribution: V<sub>bf,Rd</sub> = N  
χ<sub>w</sub> = 0, λ<sub>w</sub> = NaN, τ<sub>cr</sub> = NaN, C = NaN  
M<sub>Ed</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>f,Rd</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>Ed</sub>/M<sub>f,Rd</sub> = NaN

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = N**

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = NaN, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

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

Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### SLS stresses verification (Mmax comb.)

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	9.09E+5	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.02E+6	6.29E+5	-5.17E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**SLS stresses verification (Mmin comb.)**

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	0E+00	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	6.74E+5	-5.83E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	7.57E+5	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.06E+6	4.89E+5	-4.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

		<i>ed</i>		<i>ed</i>		<i>ed</i>			<i>ed</i>		<i>ed</i>		
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	1155
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	0E+00	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	4.89E+5	-4.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a	Ph. 2a	Ph. 2b	Ph. 2b	Ph. 2c	Ph. 2c	Ph. 2 tot	Ph. 3a	Ph. 3a	Ph. 3b	Ph. 3b	Ph. 3 tot
		Uncrack	Crack	Uncrack	Crack	Uncrack	Crack		Uncrack	Crack	Uncrack	Crack	
		ed	ed	ed	ed	ed	ed		ed	ed	ed	ed	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	Web
b (mm)	1155
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	15
Stud diameter, d (mm)	22
Stud height, h (mm)	200
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	36283
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	45

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	109478.22
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	143480.32
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	109478.22

### Elastic assessment at ULS



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.008E+5	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.236E+7	9.297E+10	0
Phase 3b	8.46E+5	6.236E+7	9.297E+10	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.008E+5	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.236E+7	9.297E+10	0
Phase 3b	9.132E+5	6.236E+7	9.297E+10	0
Sum				0

*Elastic assessment at ELS*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	7.47E+4	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.236E+7	9.297E+10	0
Phase 3b	6.291E+5	6.236E+7	9.297E+10	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	7.47E+4	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.548E+7	6.857E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.236E+7	9.297E+10	0
Phase 3b	6.74E+5	6.236E+7	9.297E+10	0
Sum				0

**Fatigue limit state verification**

**Forces and moments for steel details and studs (Mmax comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	1.49E+5	-1.59E+6	0E+00
3b max	0E+00	-8.72E+4	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Forces and moments for steel details and studs (Mmin comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	1.49E+5	-1.59E+6	0E+00
3b max	0E+00	-8.72E+4	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2d Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Main data for partial factors and damage equivalent factors**

Partial factor for steel:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1.35
Bending damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.21 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.633 < 2 (Midspan)
Shear damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.474 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.828 (Midspan)
Data for calculation of $\lambda_1$	Section position:	(Midspan)
	L span for moment (m):	44
	L span for shear (m):	17.6
Data for calculation of $\lambda_2$ , $\lambda_{v2}$	$Q_0$ (kN)	480
	$N_0$	500000
	$N_{obs}$	125000
	$Q_{mi}$ (kN)	0
	Traffic category (Table 4.5n - EN 1991-2) :	Main roads with low flow rates of lorries
	Traffic distribution (Table 4.7 -	Medium distance (40% Q1, 10% Q2, 30% Q3, 15% Q4, 5%

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	EN 1991-2) :	Q5)
Data for calculation of $\lambda_{v3}$	Design life (years):	100
Data for calculation of $\gamma_{Mf}$ for steel:	Assessment method:	
	Consequence of failure:	
Damage equivalent factor for studs:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	$1.55 \times 0.753 \times 1 \times 1.09 = 1.273$
Partial factor for studs:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1

*Fatigue assessment of structural steel*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.751 \times 90 = 67.6$ N/mm <sup>2</sup>	0	50.075	0
Bottom flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.685 \times 90 = 61.6$ N/mm <sup>2</sup>	0	45.66	0
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.751 \times 90 = 67.6$ N/mm <sup>2</sup>	0	50.075	0
Bottom flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.685 \times 90 = 61.6$ N/mm <sup>2</sup>	0	45.66	0
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

*Fatigue assessment of studs*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (90/1) = 0$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (80/1.35) = 0(*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	$= 0 + 0 = 0(*)$
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

$\gamma_{F1} \Delta \tau_{E,2} / (\Delta \tau_c / \gamma_{M1,s}) \leq 1$	= 1*0/(90/1) = 0
$\gamma_{F1} \Delta \sigma_{E,2} / (\Delta \sigma_c / \gamma_{M1}) \leq 1$	= 1*0/(80/1.35) = 0(*)
$\gamma_{F1} \Delta \tau_{E,2} / (\Delta \tau_c / \gamma_{M1,s}) + \gamma_{F1} \Delta \sigma_{E,2} / (\Delta \sigma_c / \gamma_{M1}) \leq 1.3$	= 0+0=0(*)
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

**Stiffeners checks**

Torsional buckling of vertical stiffeners

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$I_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	5.333E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	5.347E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 4.559E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 5.052E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 18 \text{ mm} \quad b_w = 459.4 \text{ mm} \quad A_{st} = 12268.4 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 35.5 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 1155 \text{ mm} \quad a/h_w = 2.597$$

Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

Check not available

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.6.5. Section Sez. 3b 1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	1280 mm
Top flange	600x65 mm
Bottom flange	950x75 mm
Web	16x1140 mm, Skew: 0
Slab	4150x240 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 16 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 50 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 22 mm, height 200 mm, number 15/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	200x20 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	1.285E+5	1.88E+5	1.88E+5	1.88E+5	2.987E+5	1.327E+5
z <sub>G</sub> (mm)	491.005	780.278	780.278	780.278	1009.911	521.793
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	3.943E+10	7.368E+10	7.368E+10	7.368E+10	1.01E+11	4.33E+10
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-8.03E+7	-9.443E+7	-9.443E+7	-9.443E+7	-9.997E+7	-8.298E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.478E+7	-1.045E+8	-1.045E+8	-1.045E+8	-1.08E+8	-9.691E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.446E+7	1.695E+8	1.695E+8	1.695E+8	4.923E+8	6.246E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.997E+7	1.474E+8	1.474E+8	1.474E+8	3.738E+8	5.711E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.474E+8	1.474E+8	1.474E+8	3.738E+8	5.711E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.068E+8	1.068E+8	1.068E+8	2.194E+8	4.567E+7
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	9.961E+7	9.961E+7	9.961E+7	1.979E+8	4.338E+7
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.231E+7	5.292E+7	5.292E+7	5.292E+7	6.928E+7	3.451E+7
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.37E+7	5.69E+7	5.69E+7	5.69E+7	7.628E+7	3.61E+7
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.95E+7	5.539E+7	5.539E+7	5.539E+7	7.594E+7	3.226E+7
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.725E-9	3.717E+7	3.717E+7	3.717E+7	6.667E+7	3.956E+6
nE	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	5.238E+6	1495.25	1520	1470.5
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	2.005E+7	1374.75	1469.5	1280
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	1280	1280	1280
Top reinforcing bars	1.633E+6	1470	1470.5	1469.5
Bottom reinforcing bars	0E+00	1280	1280	1280
Concrete haunch slab	0E+00	1280	1280	1280
Top flange of steel beam	1.319E+7	1247.5	1280	1215
Web of steel beam	6.167E+6	645	1215	75

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bottom flange of steel beam	2.273E+7	37.5	75	0
Ultimate compression force for the full section	-6.901E+7			
Ultimate tension force for the full section	4.372E+7			
Ultimate compression force for the web less section	-6.284E+7			
Ultimate tensile force for the web less section	3.755E+7			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	4.492	0.814	0	0
Bottom flange	6.227	0.838	0	0

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	71.25	0.814	0	0	0
Sagging bending moment (M-)	71.25	0.814	0	0	0
Compression (N)	71.25	0.814	1	1	0

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	2.63E+5	-1.29E+7	0E+00
2a	8.63E+5	1.01E+5	-1.26E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	1.05E+6	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	1.36E+6	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.08E+6	8.46E+5	-6.92E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	71.25	0	NaN	0	1
Top flange	4.49				0
Bottom flange	6.23				0
Section class					1

Plastic analysis: APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
$N_{Ed}$ (N)	0E+00	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00	$N_{Ed}$ (N)	0E+00
$N_{Rd}$ (N)	-6.901E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	-3.564E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00
				$M_{Rd}$ (Nm)	0E+00
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	NaN

CHECK FAILED

### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 71.25 < 31/\eta \cdot \epsilon_w \cdot (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = N$

With:

$$a/h_w = 2.632, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 0$$

web contribution:  $V_{bw,Rd} = N$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = N$   
 $\chi_w = 0, \quad \lambda_w = \text{NaN}, \quad \tau_{cr} = \text{NaN}, \quad C = \text{NaN}$   
 $M_{Ed} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = \text{NaN}$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = \text{NaN}, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \text{NaN}, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = \text{NaN}$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	2.63E+5	-1.29E+7	0E+00
2a	0E+00	1.01E+5	-1.26E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	9.13E+5	-7.92E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bending resistance - Plastic analysis

**Section classification (Mmin comb.)**

	$c/t$	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	71.25	0	NaN	0	1
Top flange	4.49				0
Bottom flange	6.23				0
Section class					1
Plastic analysis: APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
$N_{Ed}$ (N)	0E+00	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00	$N_{Ed}$ (N)	0E+00
$N_{Rd}$ (N)	-6.901E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	-3.564E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00
				$M_{Rd}$ (Nm)	0E+00
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	NaN
CHECK FAILED					

Axial force and bending moment stresses of gross cross section

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 71.25 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = N$

With:

$a/h_w = 2.632, \eta = 1.2, K_\tau = 0$   
web contribution:  $V_{bw,Rd} = N$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = N$   
 $\chi_w = 0, \lambda_w = \text{NaN}, \tau_{cr} = \text{NaN}, C = \text{NaN}$   
 $M_{Ed} = 0E+00 \text{ Nm}, M_{f,Rd} = 0E+00 \text{ Nm}, M_{Ed}/M_{f,Rd} = \text{NaN}$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = NaN, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

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

Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### SLS stresses verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	9.09E+5	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.02E+6	6.29E+5	-5.17E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### SLS stresses verification (Mmin comb.)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	0E+00	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	6.74E+5	-5.83E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	7.57E+5	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.06E+6	4.89E+5	-4.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

		<i>ed</i>		<i>ed</i>		<i>ed</i>			<i>ed</i>		<i>ed</i>		
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	1140
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	0E+00	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	4.89E+5	-4.12E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a	Ph. 2a	Ph. 2b	Ph. 2b	Ph. 2c	Ph. 2c	Ph. 2 tot	Ph. 3a	Ph. 3a	Ph. 3b	Ph. 3b	Ph. 3 tot
		Uncrack	Cracked	Uncrack	Cracked	Uncrack	Cracked		Uncrack	Cracked	Uncrack	Cracked	
		ed		ed		ed			ed		ed		

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	Web
b (mm)	1140
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	15
Stud diameter, d (mm)	22
Stud height, h (mm)	200
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	36283
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	45

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	109478.22
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	143480.32
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	109478.22

### Elastic assessment at ULS

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$v_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.008E+5	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.667E+7	1.01E+11	0
Phase 3b	8.46E+5	6.667E+7	1.01E+11	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$v_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.008E+5	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.667E+7	1.01E+11	0
Phase 3b	9.132E+5	6.667E+7	1.01E+11	0
Sum				0

*Elastic assessment at ELS*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$v_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	7.47E+4	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.667E+7	1.01E+11	0
Phase 3b	6.291E+5	6.667E+7	1.01E+11	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	7.47E+4	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.717E+7	7.368E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.667E+7	1.01E+11	0
Phase 3b	6.74E+5	6.667E+7	1.01E+11	0
Sum				0

**Fatigue limit state verification**

**Forces and moments for steel details and studs (Mmax comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00
2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	1.49E+5	-1.59E+6	0E+00
3b max	0E+00	-8.72E+4	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Forces and moments for steel details and studs (Mmin comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	1.95E+5	-9.54E+6	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2a	6.39E+5	7.47E+4	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	1.49E+5	-1.59E+6	0E+00
3b max	0E+00	-8.72E+4	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2d Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Main data for partial factors and damage equivalent factors**

Partial factor for steel:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1.35
Bending damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.21 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.633 < 2 (Midspan)
Shear damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.474 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.828 (Midspan)
Data for calculation of $\lambda_1$	Section position:	(Midspan)
	L span for moment (m):	44
	L span for shear (m):	17.6
Data for calculation of $\lambda_2$	$Q_0$ (kN)	480
$\lambda_{v2}$	$N_0$	500000
	$N_{obs}$	125000
	$Q_{mi}$ (kN)	0
	Traffic category (Table 4.5n - EN 1991-2) :	Main roads with low flow rates of lorries
	Traffic distribution (Table 4.7 -	Medium distance (40% Q1, 10% Q2, 30% Q3, 15% Q4, 5%

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	EN 1991-2) :	Q5)
Data for calculation of $\lambda_{v3}$	Design life (years):	100
Data for calculation of $\gamma_{Mf}$ for steel:	Assessment method:	
	Consequence of failure:	
Damage equivalent factor for studs:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	$1.55 \times 0.753 \times 1 \times 1.09 = 1.273$
Partial factor for studs:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1

*Fatigue assessment of structural steel*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.736 \times 90 = 66.2$ N/mm <sup>2</sup>	0	49.069	0
Bottom flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.685 \times 90 = 61.6$ N/mm <sup>2</sup>	0	45.66	0
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	u.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.736 \times 90 = 66.2$ N/mm <sup>2</sup>	0	49.069	0
Bottom flange welding $\Delta\sigma_{c,red} = \kappa_s * \Delta\sigma_c = 0.685 \times 90 = 61.6$ N/mm <sup>2</sup>	0	45.66	0
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

*Fatigue assessment of studs*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	= $1 * 0 / (90 / 1) = 0$
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	= $1 * 0 / (80 / 1.35) = 0(*)$
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	= $0 + 0 = 0(*)$
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

### Utilization ratio (Mmin comb.)

$\gamma_{F1} \Delta \tau_{E,2} / (\Delta \tau_c / \gamma_{M1,s}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (90 / 1) = 0$
$\gamma_{F1} \Delta \sigma_{E,2} / (\Delta \sigma_c / \gamma_{M1}) \leq 1$	$= 1 * 0 / (80 / 1.35) = 0 (*)$
$\gamma_{F1} \Delta \tau_{E,2} / (\Delta \tau_c / \gamma_{M1,s}) + \gamma_{F1} \Delta \sigma_{E,2} / (\Delta \sigma_c / \gamma_{M1}) \leq 1.3$	$= 0 + 0 = 0 (*)$
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

### Stiffeners checks

#### Torsional buckling of vertical stiffeners

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 * f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$I_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	5.333E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	5.347E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

#### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 4.247E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 3.502E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 16 \text{ mm} \quad b_w = 410.5 \text{ mm} \quad A_{st} = 10568.6 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 40.9 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 1140 \text{ mm} \quad a/h_w = 2.632$$

#### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

Check not available

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.6.6. Section Sez. 4 1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	1300 mm
Top flange	600x65 mm
Bottom flange	950x75 mm
Web	16x1160 mm, Skew: 0
Slab	4150x240 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 16 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 50 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 22 mm, height 200 mm, number 15/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	200x20 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	1.288E+5	1.883E+5	1.883E+5	1.883E+5	2.99E+5	1.33E+5
z <sub>G</sub> (mm)	498.883	791.496	791.496	791.496	1024.133	529.978
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	4.079E+10	7.598E+10	7.598E+10	7.598E+10	1.04E+11	4.476E+10
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-8.176E+7	-9.599E+7	-9.599E+7	-9.599E+7	-1.016E+8	-8.445E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.622E+7	-1.06E+8	-1.06E+8	-1.06E+8	-1.096E+8	-9.837E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.541E+7	1.713E+8	1.713E+8	1.713E+8	4.934E+8	6.348E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.091E+7	1.494E+8	1.494E+8	1.494E+8	3.771E+8	5.813E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.494E+8	1.494E+8	1.494E+8	3.771E+8	5.813E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.088E+8	1.088E+8	1.088E+8	2.233E+8	4.662E+7
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.015E+8	1.015E+8	1.015E+8	2.017E+8	4.431E+7
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.287E+7	5.372E+7	5.372E+7	5.372E+7	7.03E+7	3.509E+7
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.431E+7	5.783E+7	5.783E+7	5.783E+7	7.75E+7	3.675E+7
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.998E+7	5.626E+7	5.626E+7	5.626E+7	7.715E+7	3.277E+7
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	-3.725E-9	3.769E+7	3.769E+7	3.769E+7	6.766E+7	4.005E+6
nE	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	5.238E+6	1515.25	1540	1490.5
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	2.005E+7	1394.75	1489.5	1300
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	1300	1300	1300
Top reinforcing bars	1.633E+6	1490	1490.5	1489.5
Bottom reinforcing bars	0E+00	1300	1300	1300
Concrete haunch slab	0E+00	1300	1300	1300
Top flange of steel beam	1.319E+7	1267.5	1300	1235
Web of steel beam	6.275E+6	655	1235	75

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bottom flange of steel beam	2.273E+7	37.5	75	0
Ultimate compression force for the full section	-6.912E+7			
Ultimate tension force for the full section	4.383E+7			
Ultimate compression force for the web less section	-6.284E+7			
Ultimate tensile force for the web less section	3.755E+7			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	4.492	0.814	0	0
Bottom flange	6.227	0.838	0	0

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	72.5	0.814	0	0	0
Sagging bending moment (M-)	72.5	0.814	0	0	0
Compression (N)	72.5	0.814	1	1	0

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-1.35E+7	0E+00
2a	8.63E+5	0E+00	-1.26E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	1.05E+6	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	1.36E+6	0E+00	1.54E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.08E+6	6.22E+5	-7.89E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	72.5	0	NaN	0	1
Top flange	4.49				0
Bottom flange	6.23				0
Section class					1

Plastic analysis: APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
$N_{Ed}$ (N)	0E+00	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00	$N_{Ed}$ (N)	0E+00
$N_{Rd}$ (N)	-6.912E+7	$M_{Rd}$ (Nm)	-3.623E+7	$M_{Ed}$ (Nm)	0E+00
				$M_{Rd}$ (Nm)	0E+00
$N_{Ed}/N_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	0	$M_{Ed}/M_{Rd}$	NaN

CHECK FAILED

### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 72.5 < 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = N$

With:

$$a/h_w = 2.586, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 0$$

web contribution:  $V_{bw,Rd} = N$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = N$   
 $\chi_w = 0, \quad \lambda_w = \text{NaN}, \quad \tau_{cr} = \text{NaN}, \quad C = \text{NaN}$   
 $M_{Ed} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 0E+00 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = \text{NaN}$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = N$

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = \text{NaN}, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = \text{NaN}, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = \text{NaN}$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-1.35E+7	0E+00
2a	0E+00	0E+00	-1.26E+6	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-9.23E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	6.22E+5	-9.08E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bending resistance - Plastic analysis

**Section classification (Mmin comb.)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	72.5	0	NaN	0	1
Top flange	4.49				0
Bottom flange	6.23				0
Section class					1
Plastic analysis: APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00	N <sub>Ed</sub> (N)	0E+00
N <sub>Rd</sub> (N)	-6.912E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-3.623E+7	M <sub>Ed</sub> (Nm)	0E+00
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	0E+00
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	NaN
CHECK FAILED					

Axial force and bending moment stresses of gross cross section

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Maximum utilization ratio: 0 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w=72.5 < 31/\eta * \epsilon_w *(K_\tau)^{0.5}=0 \quad \text{Shear Buckling check: NOT REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = N**

With:

a/h<sub>w</sub> = 2.586, η = 1.2, K<sub>τ</sub> = 0  
 web contribution: V<sub>bw,Rd</sub> = N, flanges contribution: V<sub>bf,Rd</sub> = N  
 χ<sub>w</sub> = 0, λ<sub>w</sub> = NaN, τ<sub>cr</sub> = NaN, C = NaN  
 M<sub>Ed</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>f,Rd</sub> = 0E+00 Nm, M<sub>Ed</sub>/M<sub>f,Rd</sub> = NaN

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = N**

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Shear resistance:  $V_{Rd} = V_{pl,Rd} = N$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = NaN, \quad (=> \text{CHECK NOT VERIFIED})$$

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

Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### SLS stresses verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-1E+7	0E+00
2a	6.39E+5	0E+00	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	9.09E+5	0E+00	1.03E+5	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	2.02E+6	4.61E+5	-5.89E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### SLS stresses verification (Mmin comb.)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-1E+7	0E+00
2a	0E+00	0E+00	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.15E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	4.61E+5	-6.68E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

### Stresses of gross cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### SLS web breathing verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-1E+7	0E+00
2a	6.39E+5	0E+00	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.76E+5	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	7.57E+5	0E+00	8.55E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	1.06E+6	3.45E+5	-4.72E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

		<i>ed</i>		<i>ed</i>		<i>ed</i>			<i>ed</i>		<i>ed</i>		
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**Web assessment (Mmax comb.)**

	<i>Web</i>
b (mm)	1160
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

**SLS web breathing verification (Mmin comb.)**

**Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-1E+7	0E+00
2a	0E+00	0E+00	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-5.13E+5	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b	0E+00	3.45E+5	-4.72E+6	0E+00
Total	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a <i>Uncracked</i>	Ph. 2a <i>Cracked</i>	Ph. 2b <i>Uncracked</i>	Ph. 2b <i>Cracked</i>	Ph. 2c <i>Uncracked</i>	Ph. 2c <i>Cracked</i>	Ph. 2 tot	Ph. 3a <i>Uncracked</i>	Ph. 3a <i>Cracked</i>	Ph. 3b <i>Uncracked</i>	Ph. 3b <i>Cracked</i>	Ph. 3 tot

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	1160
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$K_{\sigma}$	1E+50
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$\xi$	NaN
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	NaN
$K_{\tau}$	0
$K_{\tau sl}$	NaN
Utilization ratio	0
Result	CHECK NOT VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	15
Stud diameter, d (mm)	22
Stud height, h (mm)	200
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	36283
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	45

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	109478.22
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	143480.32
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	109478.22

### Elastic assessment at ULS

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.766E+7	1.04E+11	0
Phase 3b	6.219E+5	6.766E+7	1.04E+11	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	1642.2
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.766E+7	1.04E+11	0
Phase 3b	6.219E+5	6.766E+7	1.04E+11	0
Sum				0

*Elastic assessment at ELS*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.766E+7	1.04E+11	0
Phase 3b	4.607E+5	6.766E+7	1.04E+11	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	985.3
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0
<b>CHECK VERIFIED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2b	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 2c	0E+00	3.769E+7	7.598E+10	0
Phase 3a	0E+00	6.766E+7	1.04E+11	0
Phase 3b	4.607E+5	6.766E+7	1.04E+11	0
Sum				0

**Fatigue limit state verification**

**Forces and moments for steel details and studs (Mmax comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	0E+00	-1E+7	0E+00
2a	6.39E+5	0E+00	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	1.54E+5	-1.76E+6	0E+00
3b max	0E+00	1.54E+5	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Forces and moments for steel details and studs (Mmin comb.)**

Phase	$N (N)$	$V (N)$	$M (Nm)$	$T (Nm)$
1	0E+00	0E+00	-1E+7	0E+00



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2a	6.39E+5	0E+00	-9.34E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Therm.Iso	0E+00	0	0E+00	0
3b max	4.23E+5	1.54E+5	-1.76E+6	0E+00
3b max	0E+00	1.54E+5	0E+00	0E+00

**Stresses of gross cross section for steel details and studs (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked Max	Ph. 3b Cracked Max	Ph. 3b Uncracked Min	Ph. 3b Cracked Min	Total Uncracked Max	Total Cracked Max	Total Uncracked Min	Total Cracked Min	$\Delta\sigma, \Delta\tau$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 max = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 max is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 min = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 min is considered: Cracked ( m.)

**Main data for partial factors and damage equivalent factors**

Partial factor for steel:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1.35
Bending damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.21 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.633 < 2 (Midspan)
Shear damage equivalent factor for steel:	$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 =$	2.474 x 0.643 x 1 x 1.15 = 1.828 (Midspan)
Data for calculation of $\lambda_1$	Section position:	(Midspan)
	L span for moment (m):	44
	L span for shear (m):	17.6
Data for calculation of $\lambda_2$ , $\lambda_{v2}$	$Q_0$ (kN)	480
	$N_0$	500000
	$N_{obs}$	125000
	$Q_{mi}$ (kN)	0
	Traffic category (Table 4.5n - EN 1991-2) :	Main roads with low flow rates of lorries
	Traffic distribution (Table 4.7 -	Medium distance (40% Q1, 10% Q2, 30% Q3, 15% Q4, 5%

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	EN 1991-2) :	Q5)
Data for calculation of $\lambda_3$ , $\lambda_{v3}$	Design life (years):	100
Data for calculation of $\gamma_{Mf}$ for steel:	Assessment method:	
	Consequence of failure:	
Damage equivalent factor for studs:	$\lambda_v = \lambda_{v1} * \lambda_{v2} * \lambda_{v3} * \lambda_{v4} =$	1.55 x 0.753 x 1 x 1.09 = 1.273
Partial factor for studs:	$\gamma_{Ff}$	1
	$\gamma_{Mf}$	1

Fatigue assessment of structural steel

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	U.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding			
Bottom flange welding			
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

	$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}$	$\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$	U.r.
Top flange	0	92.593	0
Bottom flange	0	92.593	0
Web	0	74.074	0
Top flange welding			
Bottom flange welding			
Web-top flange welding	0	92.593	0
Web-bottom flange welding	0	92.593	0
Vertical stiffeners - web welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - top flange welding	0	59.259	0
Vertical stiffeners - bottom flange welding	0	59.259	0
Longitudinal stiffener 1 - web welding			
Longitudinal stiffener 2 - web welding			

Fatigue assessment of studs

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	= 1*0/(90/1) = 0
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	= 1*0/(80/1.35) = 0(*)
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	= 0+0=0(*)
<b>CHECK PASSED</b>	

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) \leq 1$	= 1*0/(90/1) = 0
$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1$	= 1*0/(80/1.35) = 0(*)
$\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2} / (\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}) + \gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} / (\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) \leq 1.3$	= 0+0=0(*)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

CHECK PASSED

(\*) Not relevant check (Top flange in compression)

### Stiffeners checks

#### Torsional buckling of vertical stiffeners

	<i>Vertical stiffeners</i>
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$I_{cr}$ (mm <sup>4</sup> )	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	5.333E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	5.347E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

#### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 4.247E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 3.564E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 16 \text{ mm} \quad b_w = 410.5 \text{ mm} \quad A_{st} = 10568.6 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 40.9 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 1160 \text{ mm} \quad a/h_w = 2.586$$

#### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

Check not available

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.7. Riassunto verifiche travi

Si riportano di seguito i diagrammi dei seguenti rapporti di sfruttamento:

### max $\eta$ assoluto

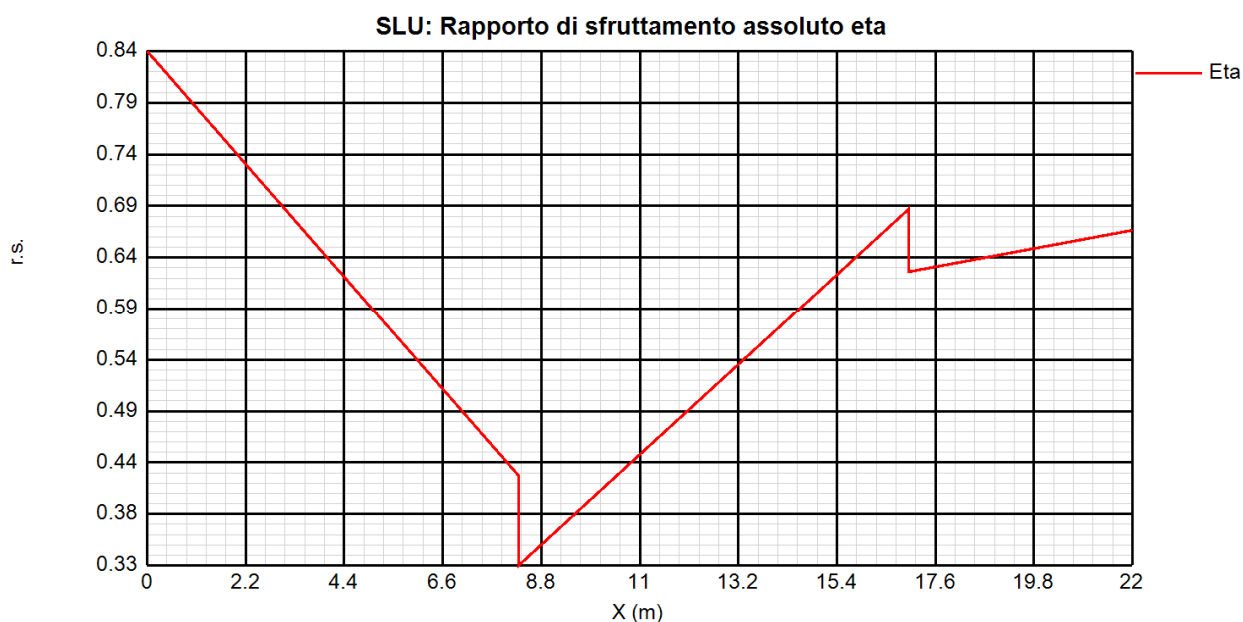
Derivante dall'interazione N/M/V (EN1993-1-5, 7.1.(1)); nei casi in cui non vi è interazione, tale valore coincide con il rapporto di sfruttamento a flessione  $\eta_1$ .

### max $\eta_1/\eta_1$

Rapporto di sfruttamento a flessione; nell'ambito delle condizioni di applicabilità dell'analisi plastica, esso coincide con il rapporto  $\eta_1 = M_{Ed}/M_{pl}$  (rapporto di sfruttamento plastico); in tutti gli altri casi è pari a  $\eta_1 = \sigma_{Ed}/(\gamma_{m0}f_{yk})$ . I rapporti di sfruttamento a flessione, rispettivamente elastici e plastici vengono tracciati indipendentemente dal campo di applicabilità; in ogni caso, il valore considerato nel calcolo del rapporto di sfruttamento assoluto considera di volta in volta il rapporto elastico/plastico in funzione degli effettivi limiti di applicabilità.

### max $\eta_3$

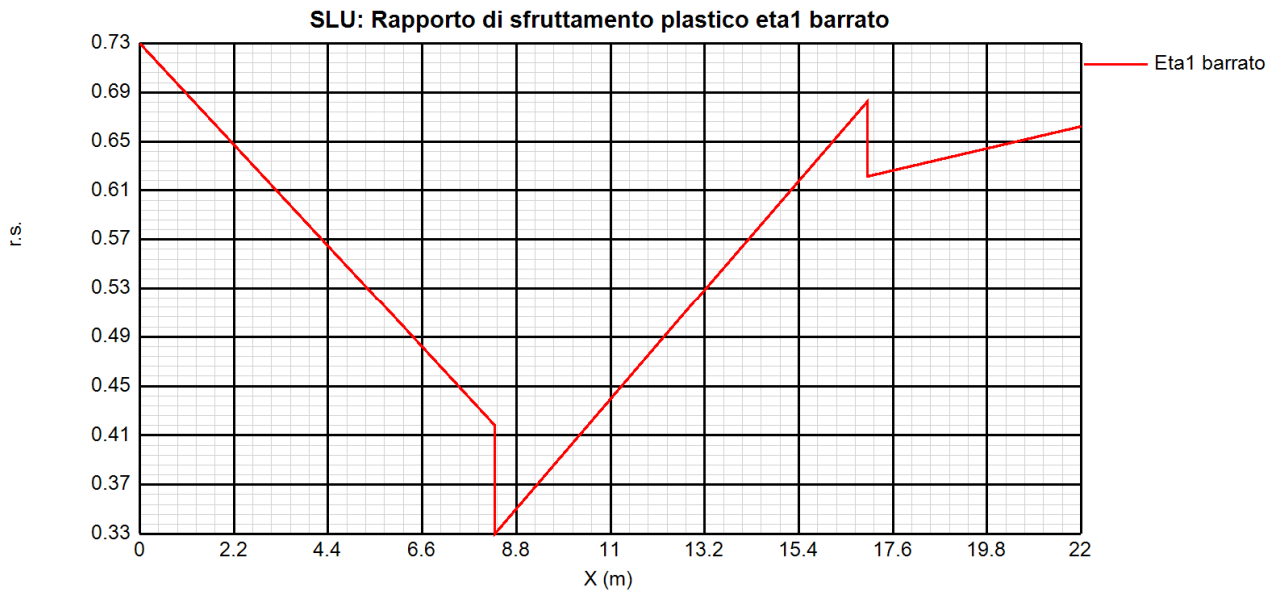
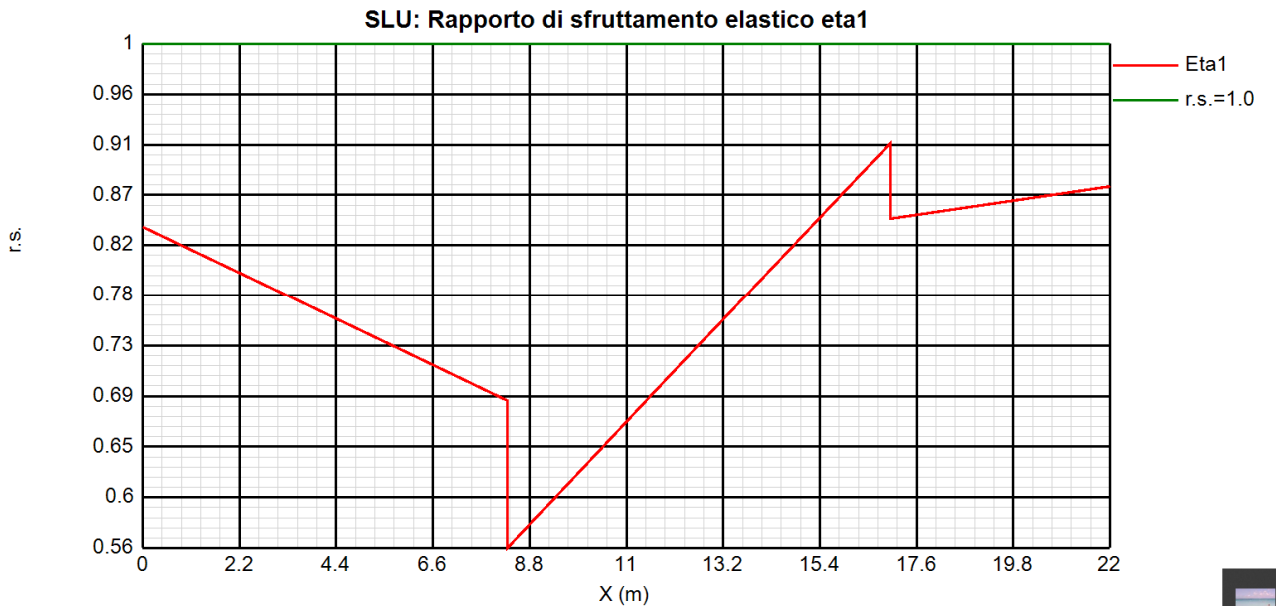
Rapporto di sfruttamento a taglio  $\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd}$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

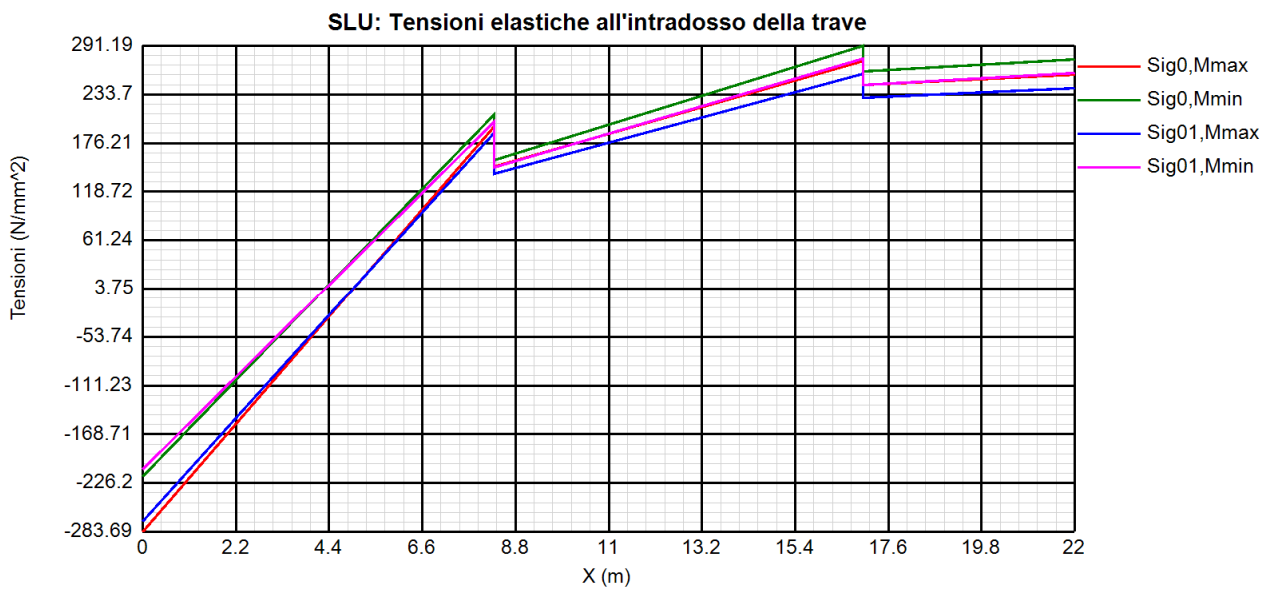
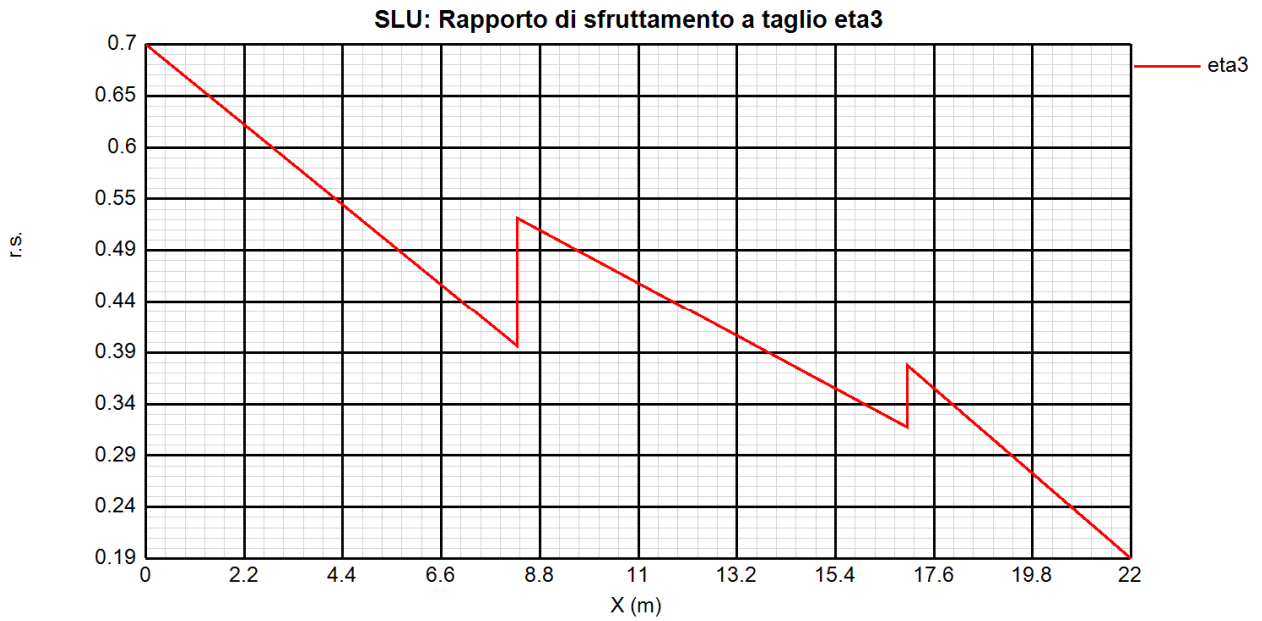
Relazione di calcolo strutturale



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

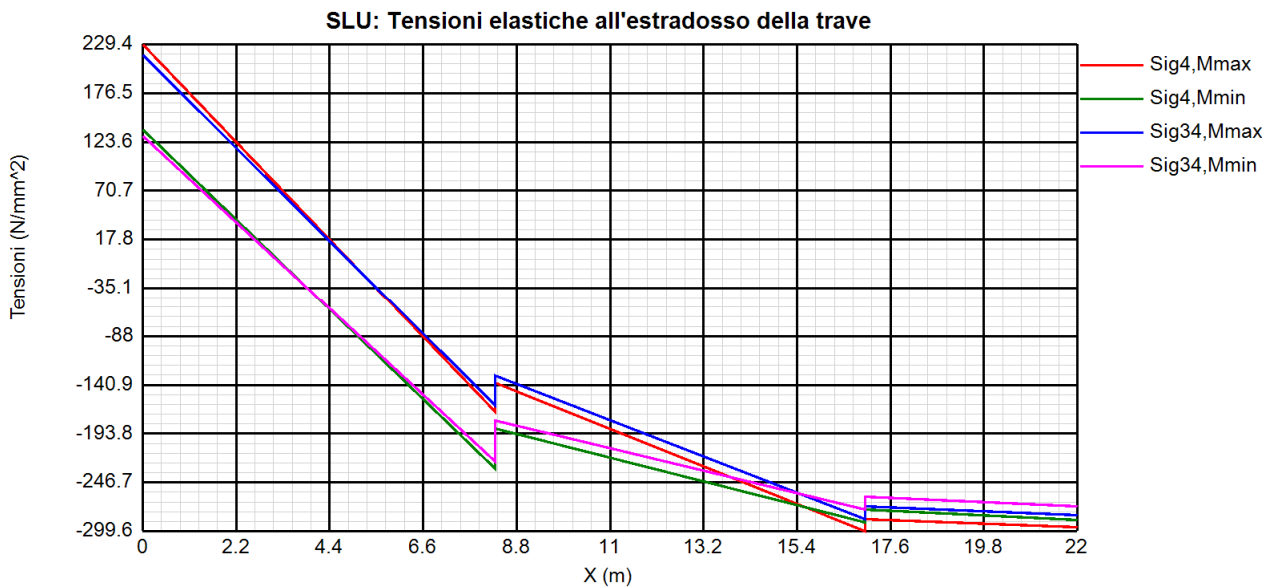
Relazione di calcolo strutturale



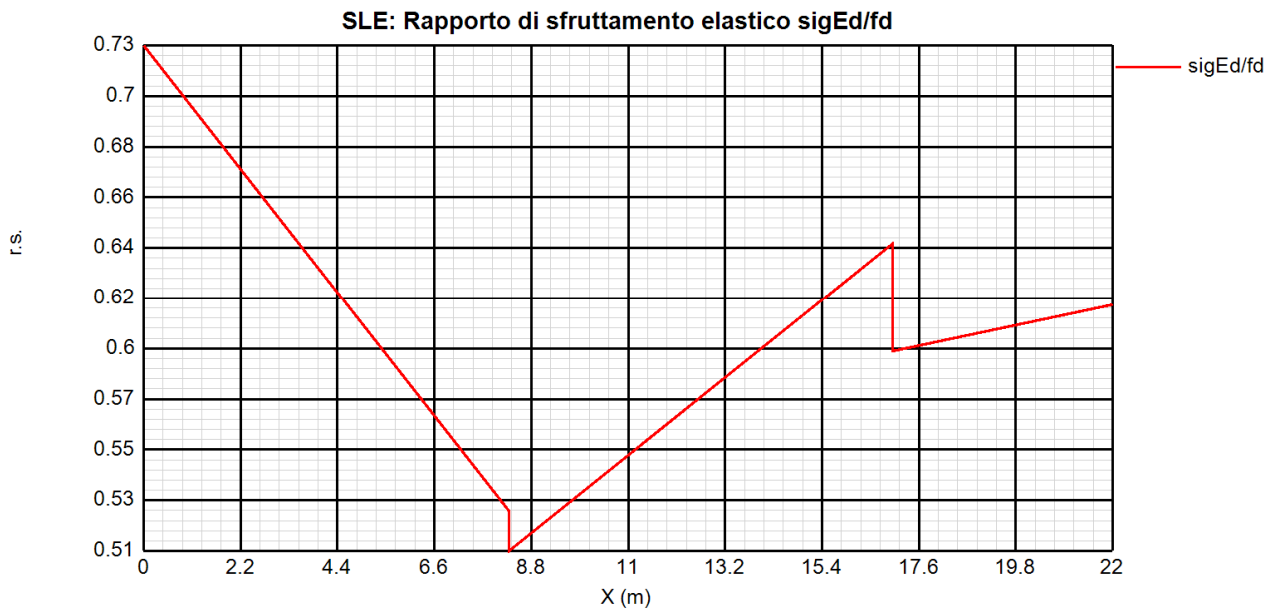
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



Di seguito si riporta l'andamento del rapporto di sfruttamento S.L.E. tra tensione di Von Mises e tensione di riferimento.



La verifica risulta essere soddisfatta.

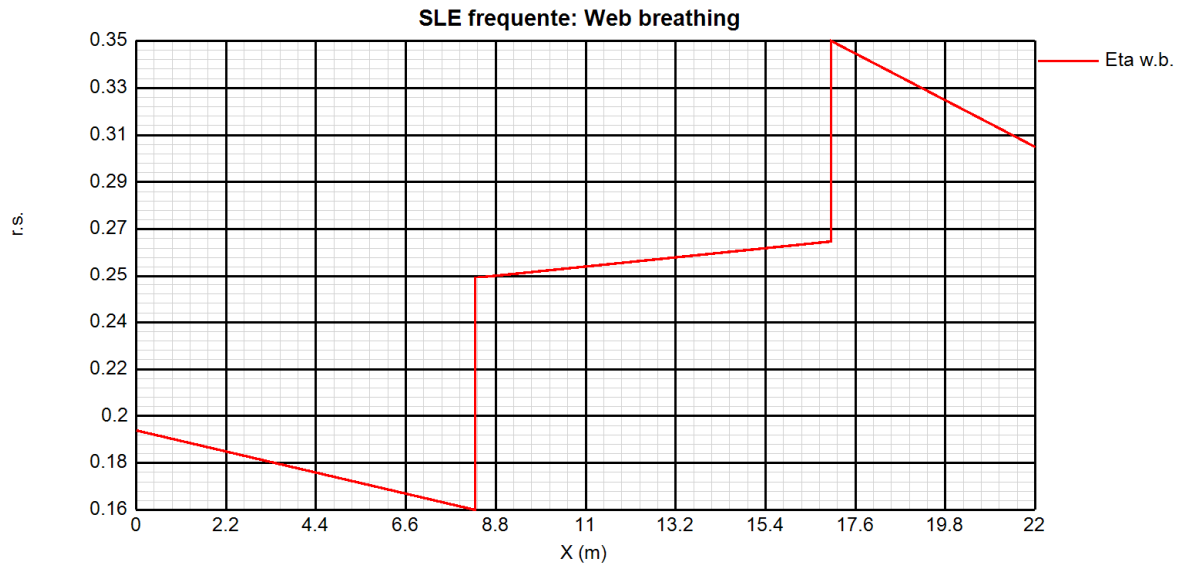


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

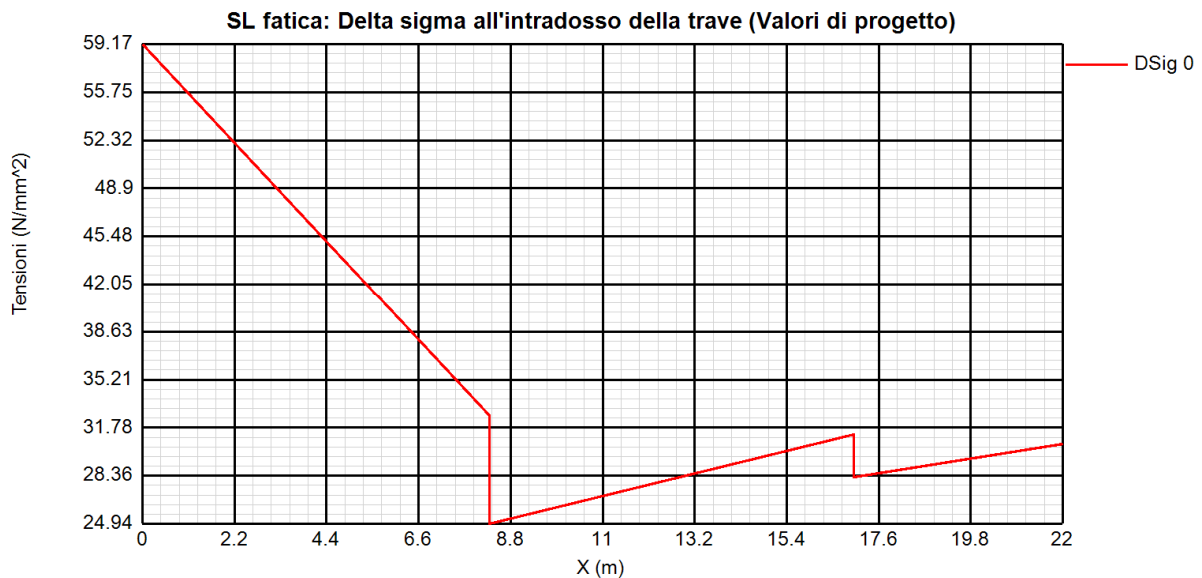
Relazione di calcolo strutturale

Relativamente alla verifica di Web Breathing, i diagrammi seguenti riportano l'andamento del rapporto di sfruttamento.



Anche in questo caso la verifica risulta essere soddisfatta.

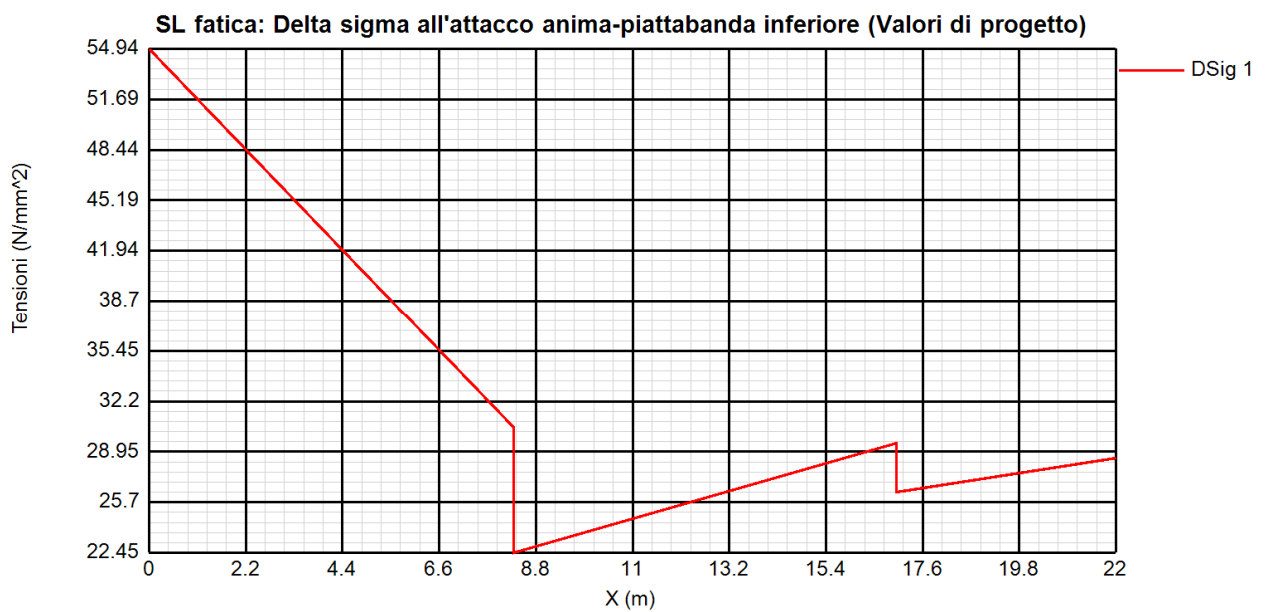
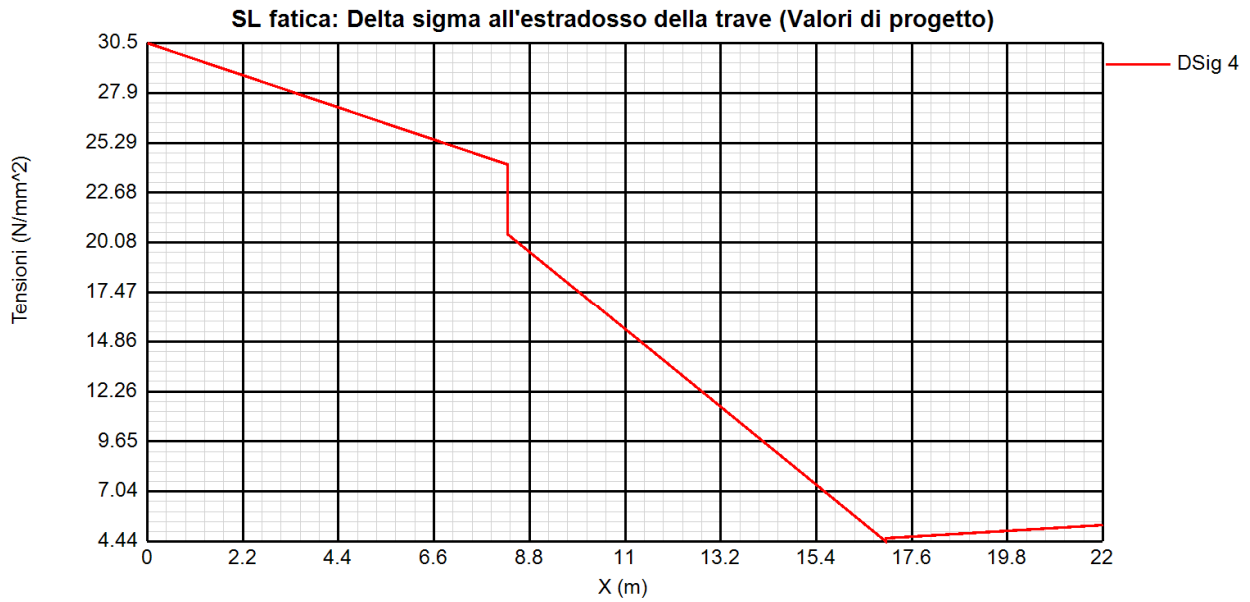
I grafici sottostanti rappresentano l'andamento dell'ampiezza  $\Delta\sigma_E$ , rilevata in corrispondenza della piattabanda inferiore e superiore e dell'attacco anima/piattabanda inferiore e superiore di ciascun concio.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

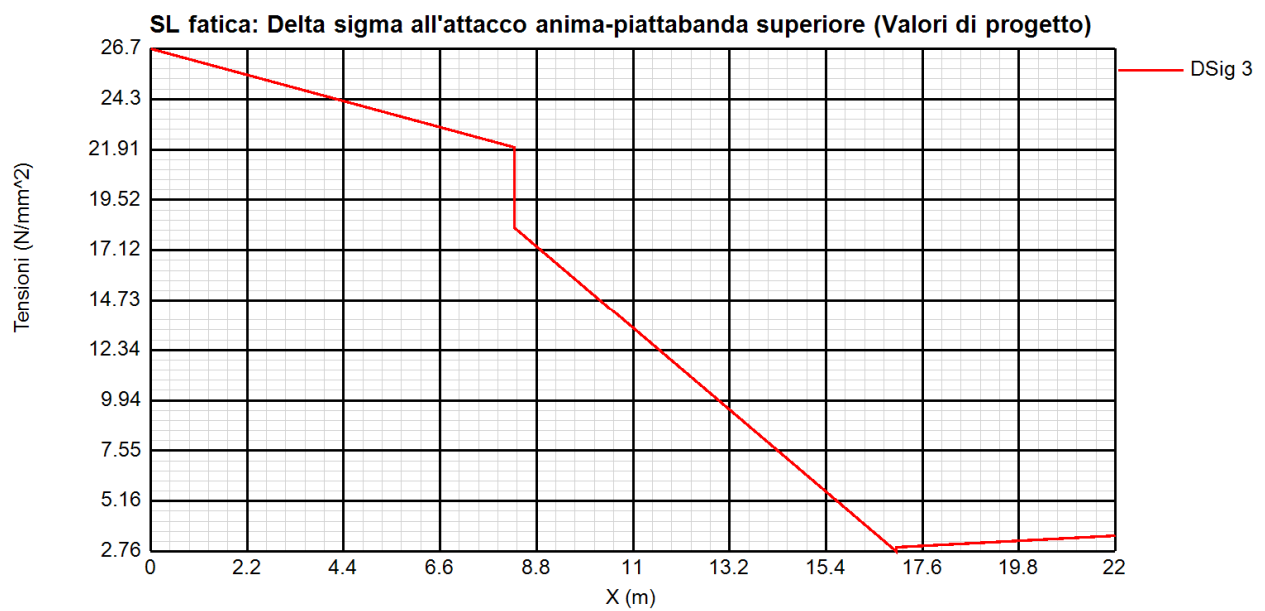
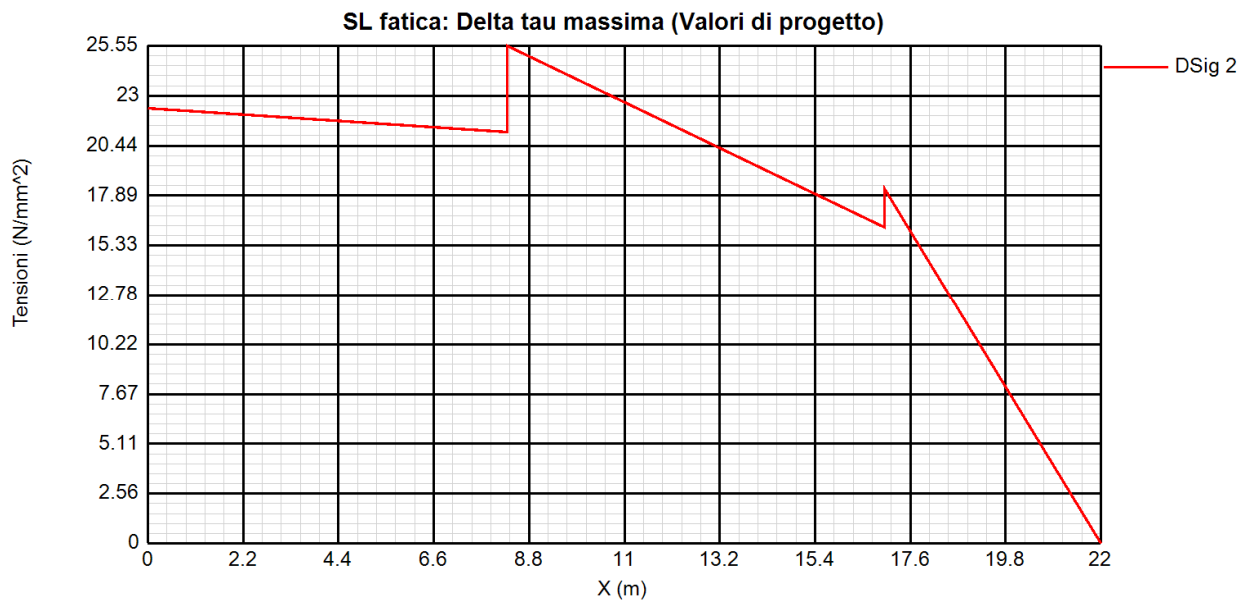
Relazione di calcolo strutturale



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.1.8. Verifica a fessurazione soletta in direzione longitudinale

Si riporta di seguito la verifica a fessurazione della soletta riguardante le armature della soletta in direzione longitudinale. Si specifica che è il cls dei cordoli della soletta, dimensionanti nella verifica in oggetto, di tipo XC4-XD3-XF4, determinano una condizione molto aggressiva per le condizioni ambientali con limitazione a  $w=0.2\text{mm}$  in combinazione frequente.

La verifica viene svolta automaticamente dal software utilizzando il metodo tabellare, determinando quindi una massima tensione "ammissibile" sulle barre in relazione all'esposizione assunta.

I medesimi requisiti sono previsti da EN 1994-2 cap. 7.4.1.

Per le verifiche nei confronti dello S.L. di fessurazione si seguono in criteri proposti da EN-1994-2, afferenti ad un ciclo più sistematico di verifiche. L'esame dello S.L. prevede i seguenti passi:

verifica presenza minimi quantitativi di armatura (EN 1994-2 cap. 7.4.2.)

controllo dell'ampiezza delle fessure per effetto dei carichi indiretti (EN 1994-2 cap. 7.4.2.)

controllo dell'ampiezza delle fessure per effetto dei carichi indiretti (EN 1994-2 cap. 7.4.3.)

Le verifiche vengono effettuate in automatico dal programma Ponti EC4.

Di seguito si riportano le modalità di espletamento delle verifiche su indicate.

Minimo quantitativi di armatura

Si considera quanto previsto in EN 1994-2, cap. 7.4.2.(1)/Istruzioni NTC-08 cap. 4.1.2.2.4.6. Il minimo quantitativo di armatura da prevedersi ai fini del contenimento delle azioni indirette, in combinazione o meno di altre azioni dirette è dato da:

$$A_{s,\min} = k_s k_c k_f f_{ct,\text{eff}} \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$
$$k_c = \frac{1}{1 + \frac{h_c}{2z_0}} + 0.3 \leq 1$$
$$k_s = 0.9$$
$$k = 0.8$$
$$f_{ct,\text{eff}} = f_{ctm}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Controllo fessurazione per carichi indiretti

La verifica viene eseguita per per la combinazione S.L.E. caratteristica e consiste nel confronto della tensione nelle armature per carichi indiretti  $\sigma_s$  con quella di riferimento prevista nelle tabelle 7.1/7.2 di EN 1994-2 (tab. C.4.1.II/C.4.1.III delle Istruzioni NTC-08), in funzione del diametro/passo delle barre e dell'ampiezza di fessura limite, e che di seguito vengono riportate.

Steel stress $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	Maximum bar diameter $\phi^*$ (mm) for design crack width $w_k$		
	$w_k=0.4\text{mm}$	$w_k=0.3\text{mm}$	$w_k=0.2\text{mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Steel stress $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	Maximum bar spacing (mm) for design crack width $w_k$		
	$w_k=0.4\text{mm}$	$w_k=0.3\text{mm}$	$w_k=0.2\text{mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

La tensione per carichi indiretti viene valutata con riferimento alla medesima formula impiegata per la deduzione del minimo quantitativo di armatura, riformulata nel seguente modo:

$$\text{Carichi indiretti } \sigma_s = k_s k_c k_{f_{ct,eff}} \frac{A_{ct}}{A_s, reale}$$

Il controllo viene effettuato interpolando linearmente sui valori delle tabelle 71-7.2 per  $w_k = 0.2 \text{ mm}$ .

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Controllo fessurazione per carichi diretti

Il controllo della fessurazione sotto carichi diretti viene effettuato con riferimento a EN 1994-2 cap. 7.4.3., confrontando la tensione nell'acciaio per la combinazione di carico S.L.E. frequente, incrementata del contributo del tension stiffening con il valore limite tabellare riferito all'effettivo diametro/passo delle armature ricavato dalle tabelle 7.1/7.2 del medesimo capitolo EN.

Il contributo del tension stiffening viene così calcolato con l'impiego delle relazioni proposte in EN 1994-2 cap. 7.4.3(3):

$$\Delta\sigma_s = \frac{0.4 f_{ctm}}{\alpha_{st} \rho_s}$$

con:

$$f_{ctm} = 3.2 \text{ Mpa}$$

$$\rho_s = A_{steel}/A_{ct}$$

$$\alpha_{st} = \frac{AI}{A_a I_a}$$

$A, I$  area ed inerzia della sezione completa, valutata trascurando il calcestruzzo in trazione

$A_a, I_a$  area ed inerzia della sezione metallica

La verifica per la sezione di spalla risulta quindi:

Sezione	z0 fase3 (mm)	kc	Act (mm <sup>2</sup> )	As,min (mm <sup>2</sup> )	As, reale (mm <sup>2</sup> )	Verifica (As min)	fmax/pmax	Sigc rara (N/mm <sup>2</sup> )	Stato (c. rara)	Sig,s (N/mm <sup>2</sup> )	Ft* (mm)	Sig am(F) (N/mm <sup>2</sup> )	Sig am (p) (N/mm <sup>2</sup> )	Verifica (carichi indiretti)	Sigs max freq (N/mm <sup>2</sup> )	Tension stiff (N/mm <sup>2</sup> )	Sgs+DSig	Verifica (carichi diretti)
Sez. 1_1	241	1	996000	6048	42732	SI	26\100	14.27	Fess.	64	19.87	183	240	SI (0.35)	186	13	199	SI (0.83)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 11.1.9. Contromonte di progetto

Nel presente paragrafo vengono riportate le massime deformazioni verticali subite dalle travi di impalcato in condizioni di esercizio.

### **Quadro di deformabilità di progetto relativo alle travi principali**

Di seguito si riportano i principali risultati inerenti la deformabilità dell'impalcato.

Viene esaminato il contributo apportato dai seguenti carichi:

- Peso proprio acciaio + Peso getto soletta (fase 1);
- Sovraccarichi permanenti e spinta delle terre (fase 2a);
- Carichi mobili (fase 3b) (combinati al 25%)

Nel seguito, relativamente alle travi principali, vengono riportate le deformate relative ai sopraccitati carichi, con l'indicazione del valore massimo di freccia riscontrato (espresso in m) in corrispondenza dei cambi concio della spalla e della mezzeria.

### **Contromonte di progetto**

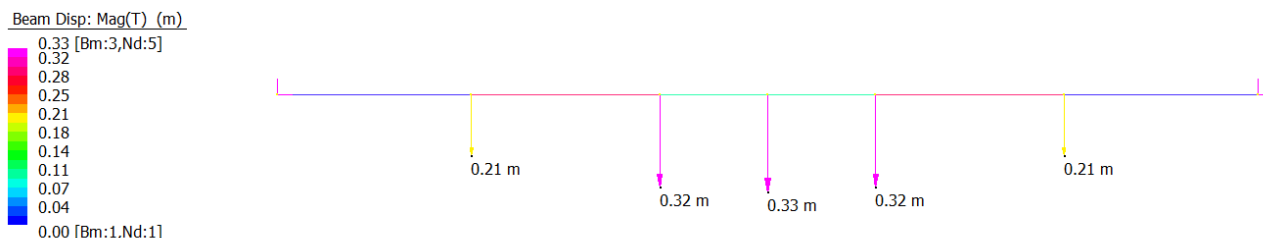
La contrefreccia da assegnare all'impalcato nella fase di montaggio è stata calcolata in modo da recuperare il 100% degli abbassamenti dovuti ai carichi strutturali e ai permanenti portati, sommato il 25% degli abbassamenti dovuti al carico da traffico. Di seguito sono riportati i valori di contromonte adottati (espressi in mm) ed il grafico delle contrefrecce da assegnare ai vari conci.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

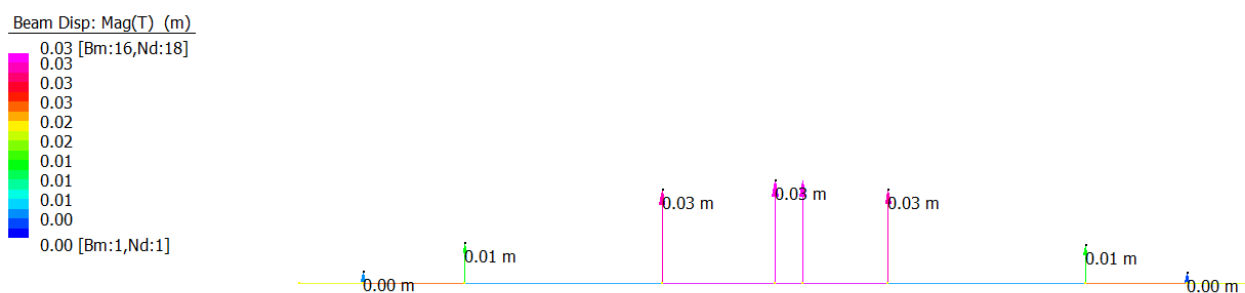
Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Spostamento per Pesi strutturali:



- Spostamento per carichi da traffico (lo spostamento è verso l'alto in quanto deriva da inviluppo in valore assoluto):



La tabella degli spostamenti risulta:

DEFORMAZIONI VERTICALI IN FASE DI ESERCIZIO							
	Spalla A	Concio A-B	Concio B-C	Mezzeria	Concio C-D	Concio D-E	Spalla B
<b>Strutt [m]</b>	0.000	0.210	0.320	0.330	0.320	0.210	0.000
<b>PePo [m]</b>	0.000	0.005	0.010	0.011	0.010	0.005	0.000
<b>traffico [m]</b>	0.000	0.014	0.032	0.035	0.032	0.014	0.000
<b>TOT [m]</b>	0.000	0.219	0.338	0.350	0.338	0.219	0.000
<b>TOT [mm]</b>	0	219	338	350	338	219	0
<b>Progr. Long. [m]</b>	0	9	17.7	22.7	27.7	36.4	45.4

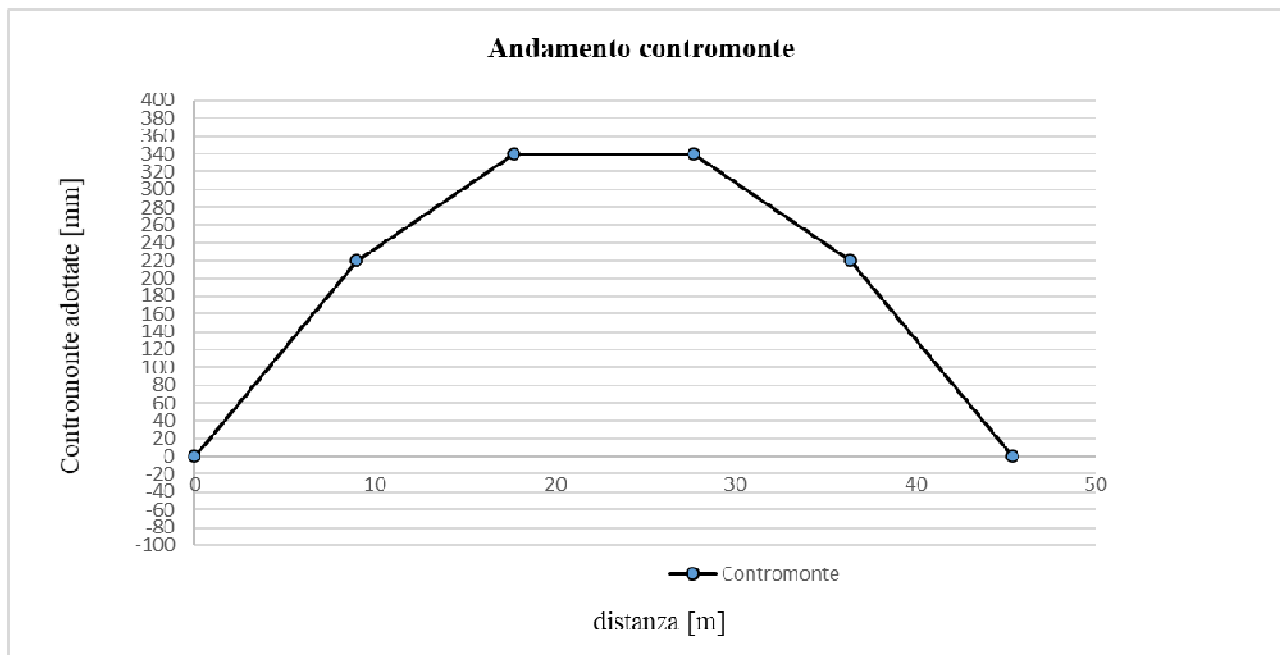
	spalla A	Concio A-B	Concio B-C	Mezzeria	Concio B-C	Concio C-D	Concio E-F
<b>Contromonte adottate [mm]</b>	0	220	340	340	340	220	0
<b>Progr. Long. [m]</b>	0	9	17.7		27.7	36.4	45.4



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



Per quanto riguarda lo spostamento da carichi da traffico risulta pari a:

$$d = 0.035\text{m}$$

contro uno spostamento massimo ammissibile pari a:

$$d_{lim} = 45.4/700 = 0.065\text{m}$$

La verifica è quindi soddisfatta.

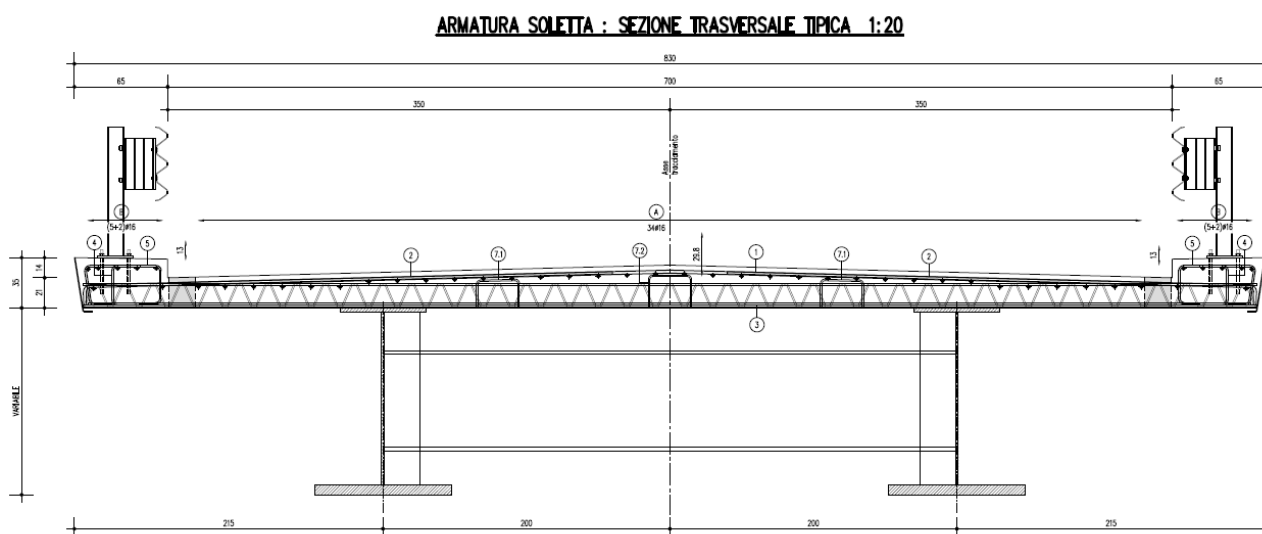
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2. SOLETTA DI IMPALCATO

La soletta, ordita trasversalmente, è costituita da lastre tralicciate tipo predalles appoggiate sulle travi principali. Le lastre sono in acciaio ed hanno uno spessore di 5 mm e sono armate con idonei tralicci le cui altezze e geometrie sono riportate nel seguito.



Le verifiche della soletta vengono condotte con riferimento a due fasi distinte.

- **Fase I: provvisoria**

Nella prima fase il getto non è ancora giunto a maturazione, non può quindi essere considerato efficace ai fini della resistenza, in questa fase risultano quindi efficaci le sole armature inserite nelle predalles e la predalle in acciaio. Le azioni presenti sono costituite dal peso proprio delle lastre, dal getto e da un sovraccarico accidentale dovuto al personale, ai mezzi d'opera e ad accumuli di conglomerato cementizio.

- **Fase II: definitiva**

Nella seconda fase si fa riferimento alla sezione completa, composta cioè dal calcestruzzo, armatura e dalle prédalles. I carichi sono: peso proprio predalles e getto, pesi portati e traffico. Il calcolo viene svolto realizzando un modello tridimensionale rappresentante la soletta appoggiata in corrispondenza delle travi.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2.1. Analisi dei carichi

### 11.2.1.1. Pesì propri e Permanenti portati

Peso proprio delle lastre predalles:  $78.5 \text{ kN/m}^3 \times 0.005 \text{ m} = 0.39 \text{ kN/m}^2$

Peso proprio dei getti di calcestruzzo (si riportano i carichi per le varie fasce di soletta):

Tratto	Spessore (m)	Peso cls (kN/m <sup>3</sup> )	Massa Soletta (kN/m <sup>2</sup> )
Cordolo	0.35	25.00	8.75
Campata	0.248	25.00	6.20

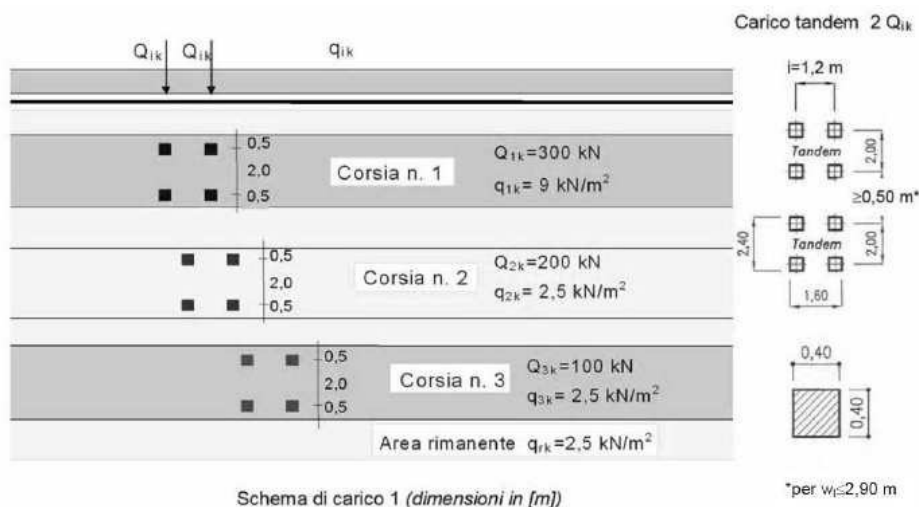
Pavimentazione 3.00 kN/m<sup>2</sup>

Barriere 1.50 kN/m

Mezzi d'opera/personale/ accumulo cementizio 1.00 kN/m<sup>2</sup>

### 11.2.1.2. Azioni variabili da traffico

Si considera lo Schema di Carico 1, costituito da carichi uniformemente distribuiti e carichi concentrati come riportato nella figura sottostante.

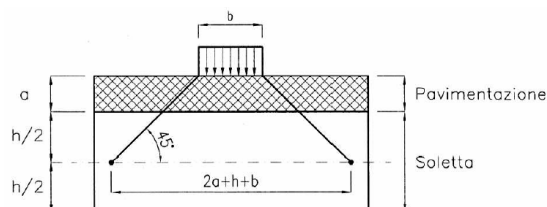


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Secondo quanto indicato dalla normativa si considera lo Schema di Carico 1 costituito da carichi concentrati su due assi in tandem  $Q_{1k}$  e da un carico distribuito  $q_{1k}$ . Si assume come base resistente, l'ingombro trasversale del carico diffuso verticalmente a  $45^\circ$  sino al piano medio della soletta.



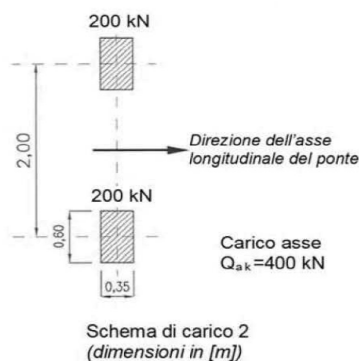
$$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$$

$$q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$$

$$H = 0.80 \text{ m}$$

$$P_{eq} = 300 / (0.8 \cdot 0.8 \text{ m}) = 468 \text{ kN/m}^2$$

E' stato poi considerato anche lo schema di carico 2:



Sono state definite delle corsie di traffico relative alle colonne di carico, disposte in modo da poter valutare tutte le disposizioni da traffico più sfavorevoli per la soletta, in modo da massimizzare le sollecitazioni flettenti positive e negative.

Si considera inoltre lo schema di carico 5 per simulare la presenza della folla:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

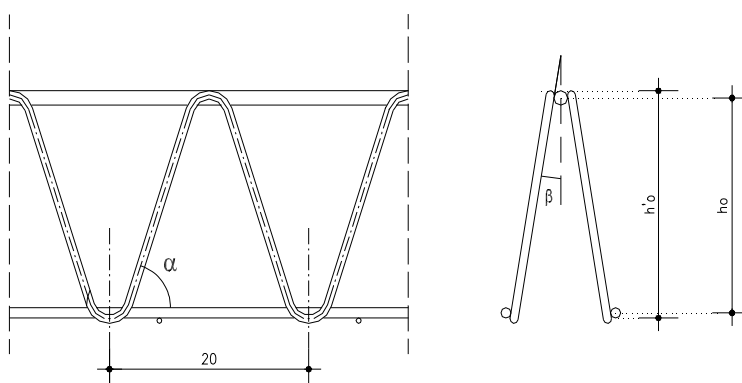
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2.2. Calcolo in Fase 1

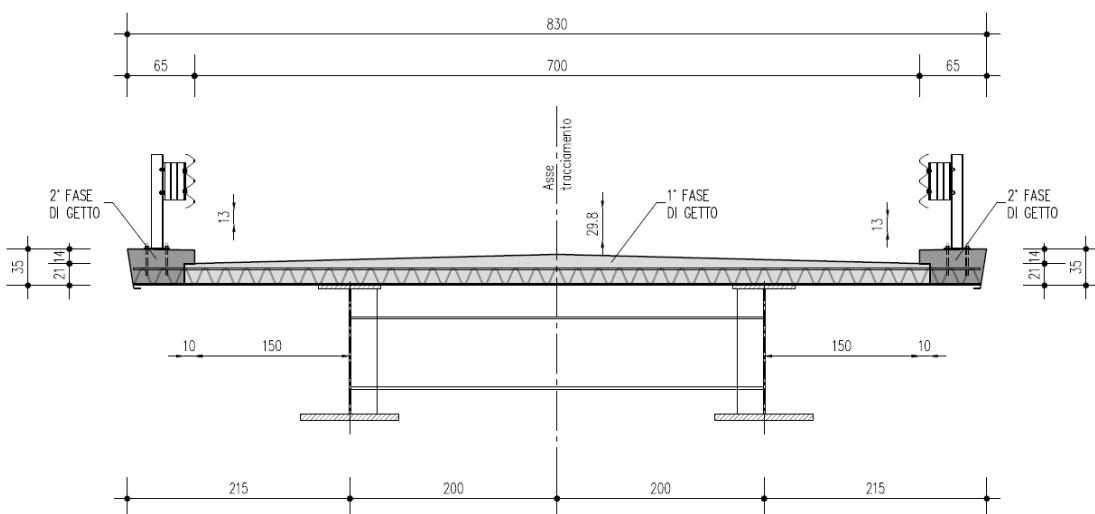
Come detto in precedenza si considera una prima fase, detta "provvisoria", in cui il getto integrativo è ancora in fase fluida e risultano efficaci le sole armature inserite nelle predalles.

Di seguito si riporta una rappresentazione schematica del traliccio.



La predalles viene calcolata con uno schema statico di trave su 2 appoggi per la campata centrale mentre su schema di mensola a sbalzo per lo sbalzo laterale sia a destra sia a sinistra, considerando le luci di calcolo riportate nella figura sottostante. Si riportano anche le fasi di getto. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.

### SCHEMA FASI DI GETTO TRASVERSALI 1:50



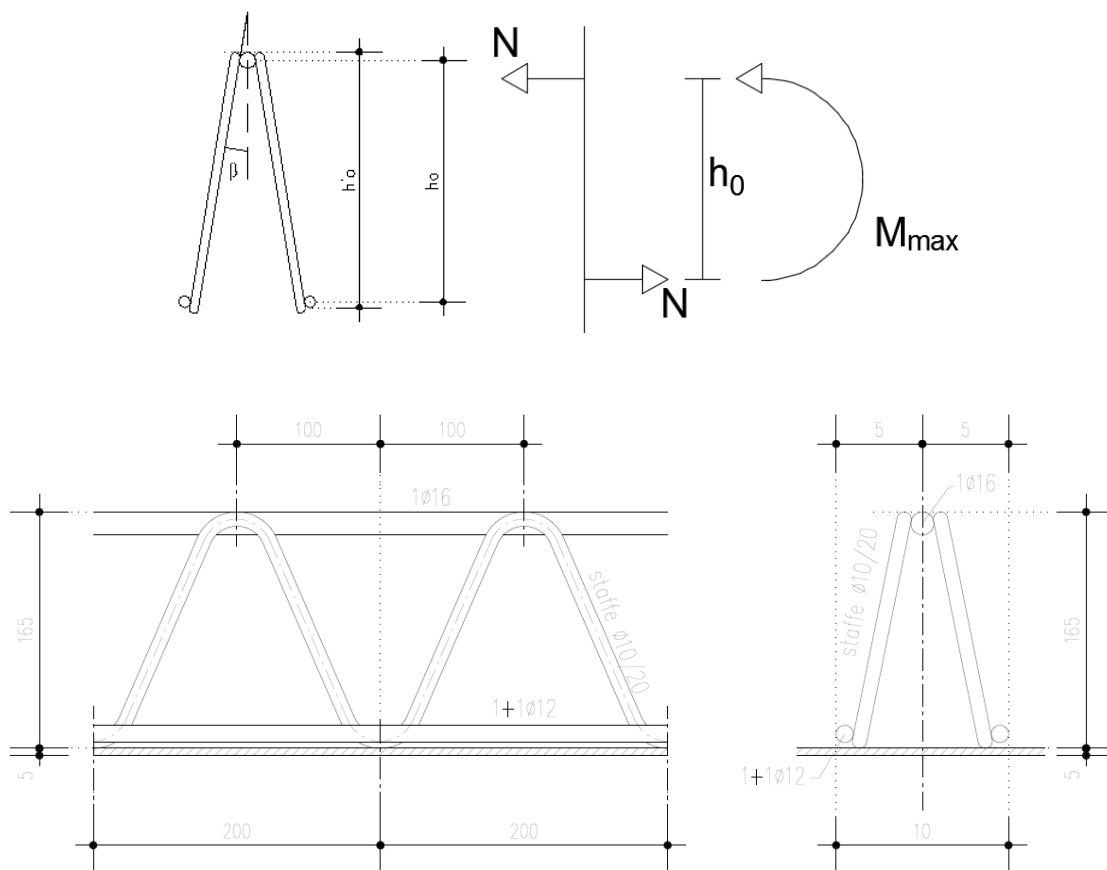
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Con i carichi descritti in precedenza e sullo schema statico di trave su due appoggi e di mensola incastrata si calcolano le sollecitazioni utilizzate nelle verifiche.

Il momento flettente è equilibrato da una coppia interna costituita dal corrente superiore compresso e dai correnti inferiori tesi come illustrato nella seguente figura.



Lo sforzo normale agente sui correnti risulta pertanto:

$$N = M / h_0$$

Si procede quindi con la verifica di stabilità dei correnti superiore ed inferiore (in funzione del segno del momento) e la stabilità del diagonale compresso.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**11.2.2.1. Campata**

Lo spessore medio del getto nella zona di campata risulta pari a 0.265m. La luce di calcolo è la lunghezza della lastra pari a 3.50m.

	<b>Carichi</b>		
Carichi	peso proprio predalle in acc	0.39	kN/mq
	getto integrativo cls	6.63	kN/mq
	sovraccarico	1.00	kN/mq
	<b>Geometria tralicci</b>		
	numero di tralicci nella lastra	6	m
Corrente Superiore	∅ corrente superiore traliccio	16	mm
	area corrente sup.	201	mmq
	area correnti sup. / lastra	1206	mmq
	momento di inerzia corrente sup.	3217	mmq x mmq
	raggio di inerzia corrente sup.	4.00	mm
	lunghezza libera di inflessione	20	cm
Corrente Inferiore	∅ corrente inferiore traliccio	12	mm
	area corrente inf.	113	mmq
	numero di ferri inf. aggiuntivi	0	
	∅ ferri inf. aggiuntivi	20	mm
	area ferri aggiuntivi	314	mmq
	altezza totale traliccio	16.50	cm
	altezza utile traliccio	14.70	cm
staffe	∅ staffa traliccio	10	mm
	area staffa	79	mmq
	area staffe / lastra	942	mmq
	momento di inerzia staffa	491	mmq x mmq
	raggio di inerzia correnti inf.	2.50	mmc
	lunghezza libera di inflessione	16.27	cm

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

lambda staffe	65	
alfa	1.18	rad
beta	0.22	rad
<b>larghezza piattabanda</b>		
	0	m
<b>lunghezza sbalzo</b>		
	0	m
<b>lunghezza campata</b>		
	3.5	m
<b>Momento indotto dagli sbalzi</b>		
	0.00	kNm/m
<b>Sollecitazioni unitarie</b>		
M=	12.28	kNm/m
T=	14.03	KN/m
<b>Sollecitazioni sulla lastra</b>		
<b>larghezza lastra</b>		
	2.40	m
<b>M SLU=</b>		
	39.78	kNm/lastra
<b>T SLU=</b>		
	45.46	kN/lastra
<b>S SLU staffe</b>		
	67.93	kN/lastra

Le verifiche risultano:

<b>Tensioni sugli elementi</b>		
Trazione sui correnti inf.	199.38	N/mmq
Compressione nei correnti sup.	224.30	N/mmq
Compressione nelle staffe	72.08	N/mmq

<b>Instabilità compressione (ferro sup)</b>		
Ned	45.10	kN
A	201.06	mmq
J	3216.991	mmc
fyk	450	N/mmq
γM1	1.1	
E	210000	N/mmq



**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

I	200	mm
$\beta$	1	
I <sub>0</sub>	200	mm
N <sub>cr</sub>	166689.74	N
$\lambda$	0.74	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	0.903	
$\chi$	0.70	
N <sub>b,Rd</sub>	57.73	kN
Coeff sicurezza	1.28	

**Instabilità staffa**

N <sub>ed</sub>	5.66	kN
A	78.54	mm <sup>2</sup>
J	490.87	mm <sup>3</sup>
f <sub>yk</sub>	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{M1}$	1.1	
E	210000	N/mm <sup>2</sup>
I	162.72	mm
$\beta$	1	
I <sub>0</sub>	162.72	mm
N <sub>cr</sub>	38422.038	
$\lambda$	0.96	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	1.146	
$\chi$	0.564	
N <sub>b,Rd</sub>	18.12	kN
Coeff sicurezza	3.20	

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**11.2.2.2. Sbalzo**

Lo spessore medio del getto nella zona di sbalzo risulta pari a 0.2225m. La luce di calcolo è la distanza tra il filo del primo getto e l'asse trave pari a 1.60m.

		<b>Carichi</b>	
		<b>Geometria tralicci</b>	
		larghezza lastra	2.40 m
		numero tralicci	6.00
		interasse tralicci	0.40 m
corr. Sup.		∅ corrente superiore traliccio	16.0 mm
		area correnti sup. / lastra	1206 mmq
corr. Inferiore		∅ corrente inferiore traliccio	12.0 mm
		area corrente inf.	113 mmq
		area correnti inf. / lastra	1357 mmq
		momento di inerzia correnti inf.	1018 mmq x mmq
		raggio di inerzia correnti inf.	3.00 mm
		lunghezza libera di inflessione	50 cm
		lambda correnti inf.	166.67
		lambda correnti inf.	167
corr. Inferiore integrativo		∅ corrente inf. integrativo	0 mm
		area corrente inf. Integrativo	0 mmq
		numero correnti inf. Integrativi	0 num
		area correnti inf. / lastra	0 mmq
		momento di inerzia correnti inf.	0 mmq x mmq
		raggio di inerzia correnti inf.	0.00 mmc
		lunghezza libera di inflessione	20 cm
		lamdba correnti inf.	800000000.00
		lambda correnti inf.	800000000
		altezza totale traliccio	16.00 cm
		altezza utile traliccio	14.70 cm

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

staffe	∅ staffa traliccio	10	mm
	area staffa	79	mmq
	area staffe / lastra	942	mmq
	momento di inerzia staffa	491	mmq x mmq
	raggio di inerzia staffa.	2.50	mmc
	lunghezza libera di inflessione	18.78	cm
	lambda staffe	75.12	
	lambda staffe	75	
	alfa	0.97	rad
	Dist in pianta corrente sup-ing	5.00	cm
	beta	0.33	rad
	<b>Sollecitazioni unitarie</b>		
M Slu	12.01	kNm/m	
T Slu	15.01	kN/m	
<b>Sollecitazioni sulla lastra</b>			
M Slu	28.82	kNm/lastra	
T Slu	36.03	kN/lastra	
S staffe Slu	46.03	kN/lastra	

**Tensioni sugli elementi**

Trazione sui correnti sup.	162.53	N/mmq	<b>OK</b>
Compressione nei correnti inf.	144.47	N/mmq	<b>OK</b>
Compressione nelle staffe	48.84	N/mmq	<b>OK</b>

**Instabilità compressione ferri inferiori**

Ned	16.34	kN
A	113.10	mmq
J	1017.876	mmc
fyk	500	N/mmq

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

$\gamma_{M1}$	1.15	
E	210000	N/mm <sup>2</sup>
I	200	mm
$\beta$	1	
l <sub>0</sub>	200	mm
N <sub>cr</sub>	52741.68	N
$\lambda$	1.04	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	1.241	
$\chi$	0.52	
N <sub>b,Rd</sub>	25.55	kN
Coeff sicurezza	1.56	

<b>Instabilità staffe</b>		
N <sub>ed</sub>	3.84	kN
A	78.54	mm <sup>2</sup>
J	490.87	mm <sup>3</sup>
f <sub>yk</sub>	500	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{M1}$	1.15	
E	210000	N/mm <sup>2</sup>
I	187.79	mm
$\beta$	1	
l <sub>0</sub>	187.79	mm
N <sub>cr</sub>	28849.19206	N
$\lambda$	1.17	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	1.417	
$\chi$	0.450	
N <sub>b,Rd</sub>	15.37	kN
Coeff sicurezza	4.01	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

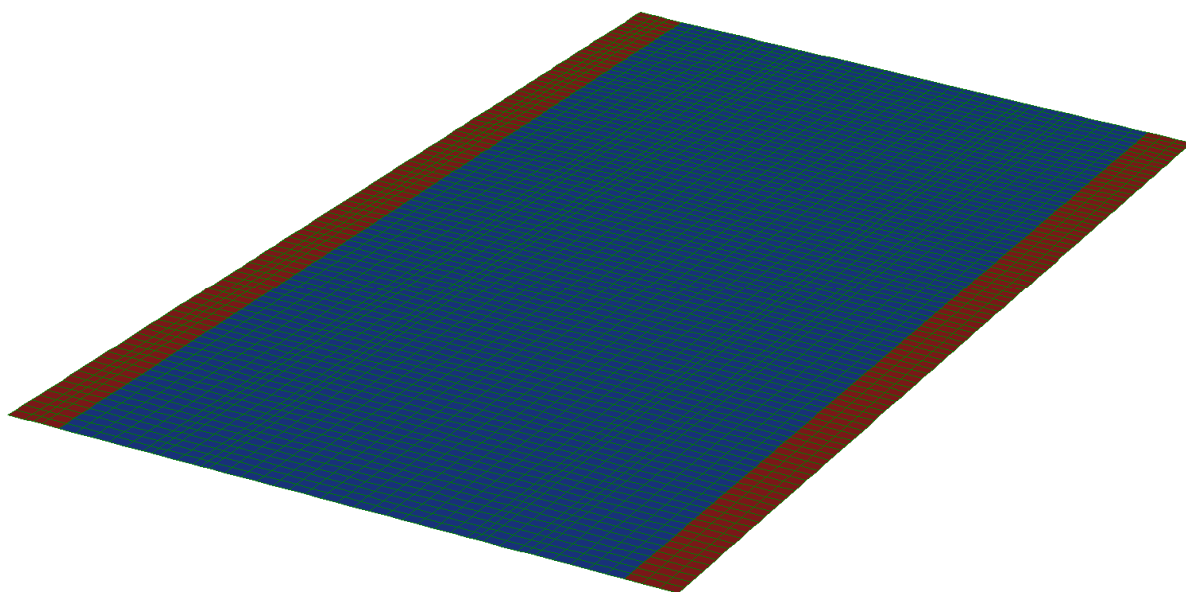
Relazione di calcolo strutturale

---

## 11.2.3. Calcolo in Fase 2

### 11.2.3.1. Sollecitazioni

Le sollecitazioni vengono estratte dal modello di calcolo 3d nel quale sono stati inseriti i carichi permanenti e variabili in gioco:



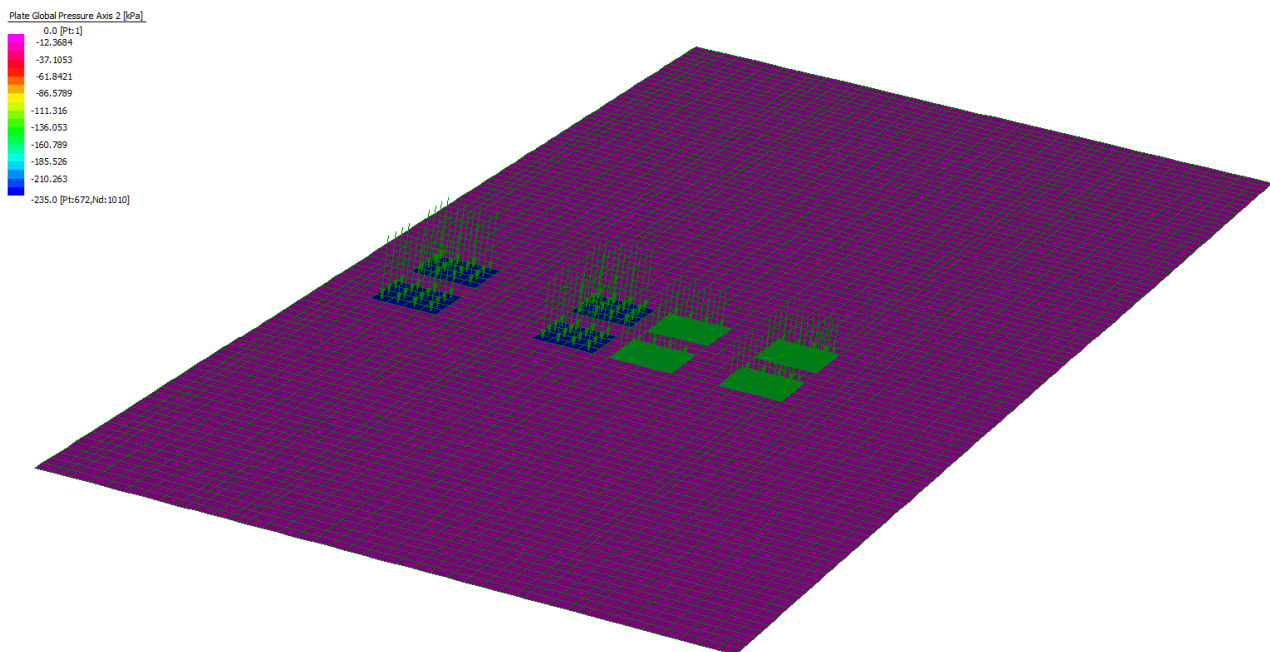
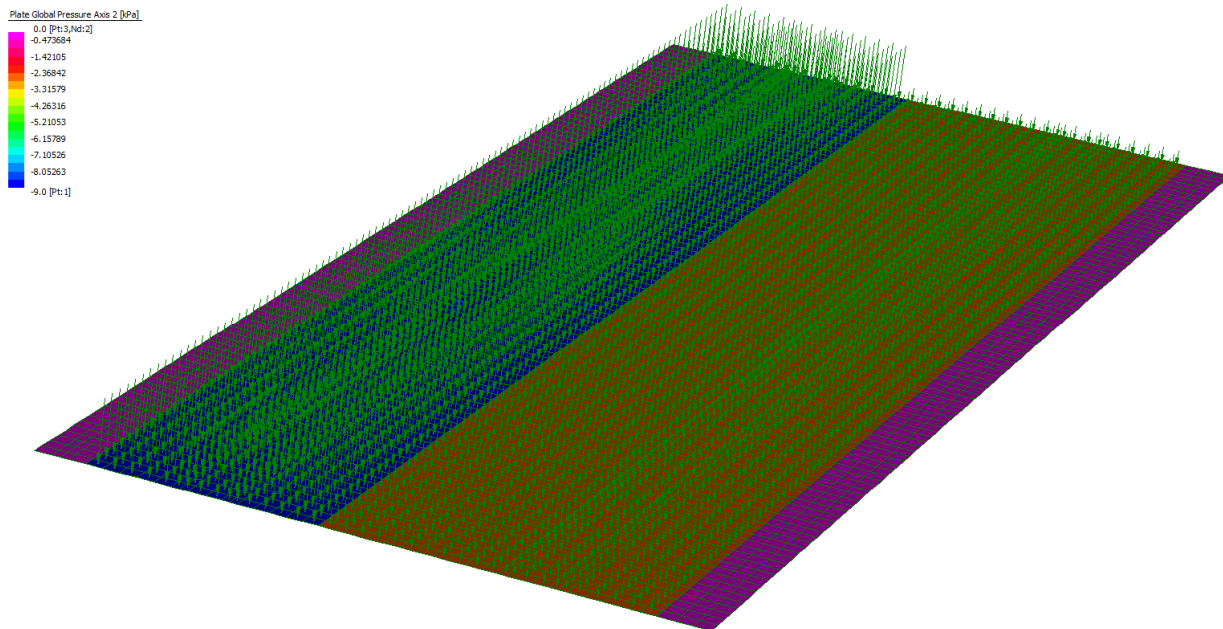
Dopo aver estratto le sollecitazioni si procederà alla verifica a flessione/taglio SLU, limitazione tensioni in combo rara, fessurazione in combo frequente. Non si svolgeranno le verifiche in combo quasi permanente in quanto non essendo presenti i contributi del traffico si producono sollecitazioni molto limitate e le verifiche risultano automaticamente soddisfatte.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Si riportano a titolo di esempio alcuni caricamenti da traffico Schema di carico 1 inseriti nel programma:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Plate Global Pressure Axis 2 [kPa]

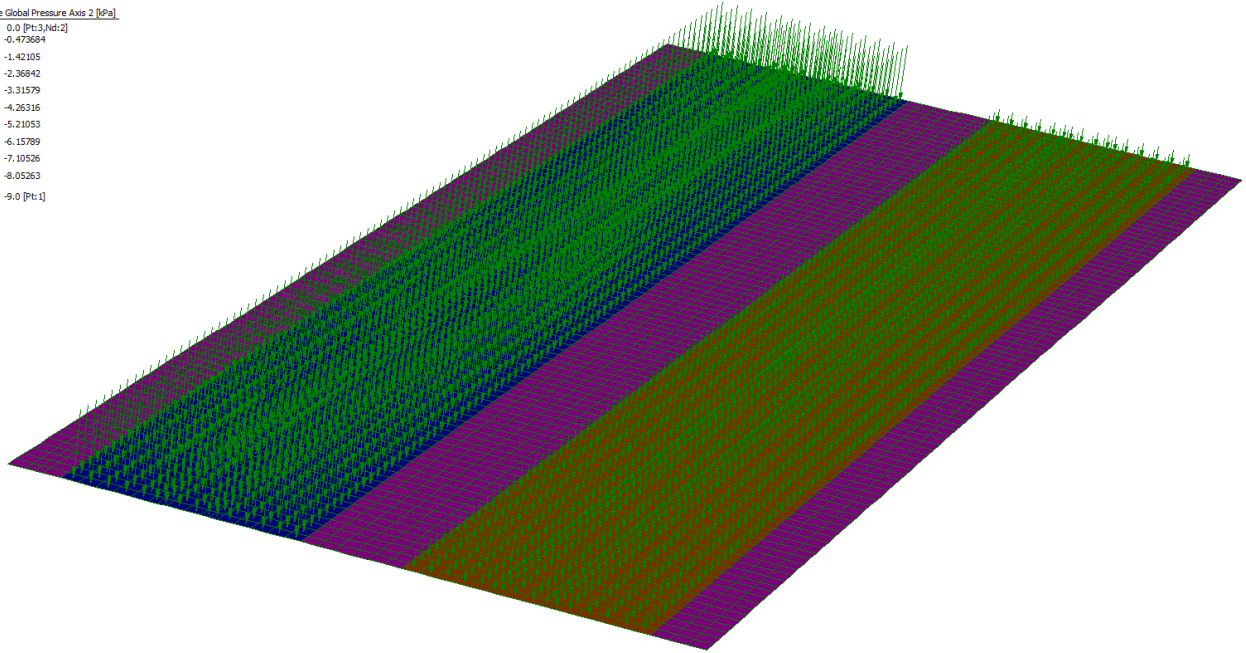
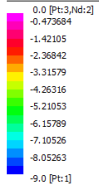
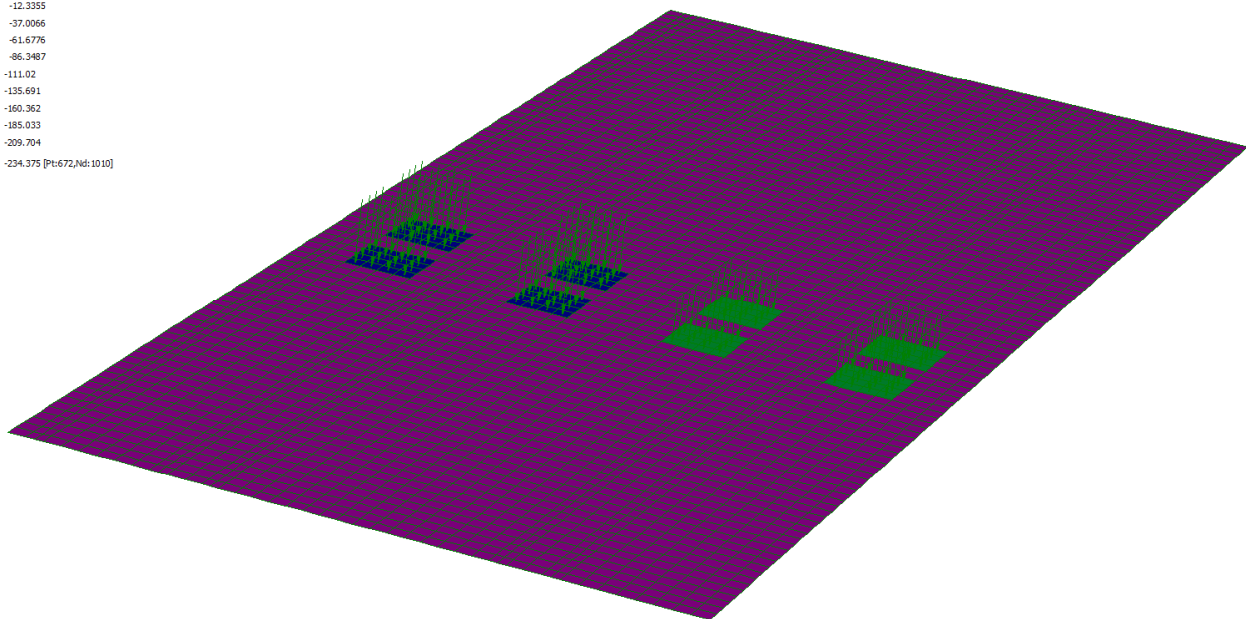
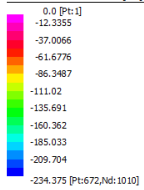


Plate Global Pressure Axis 2 [kPa]





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Plate Global Pressure Axis 2 [kPa]

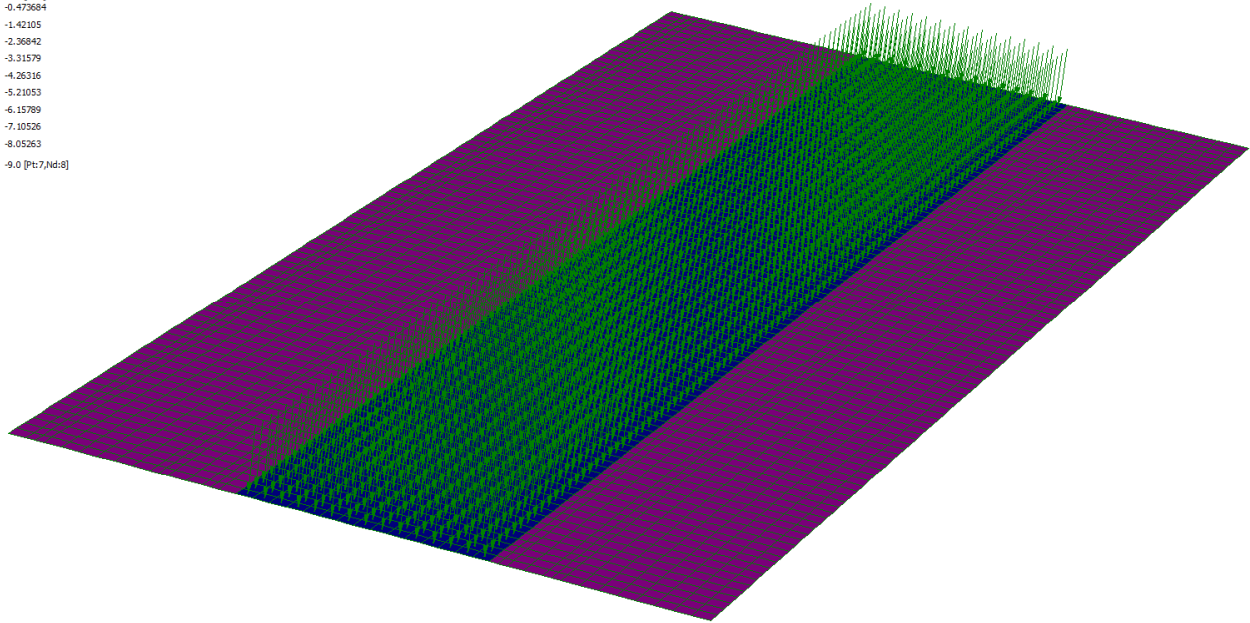
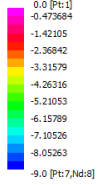
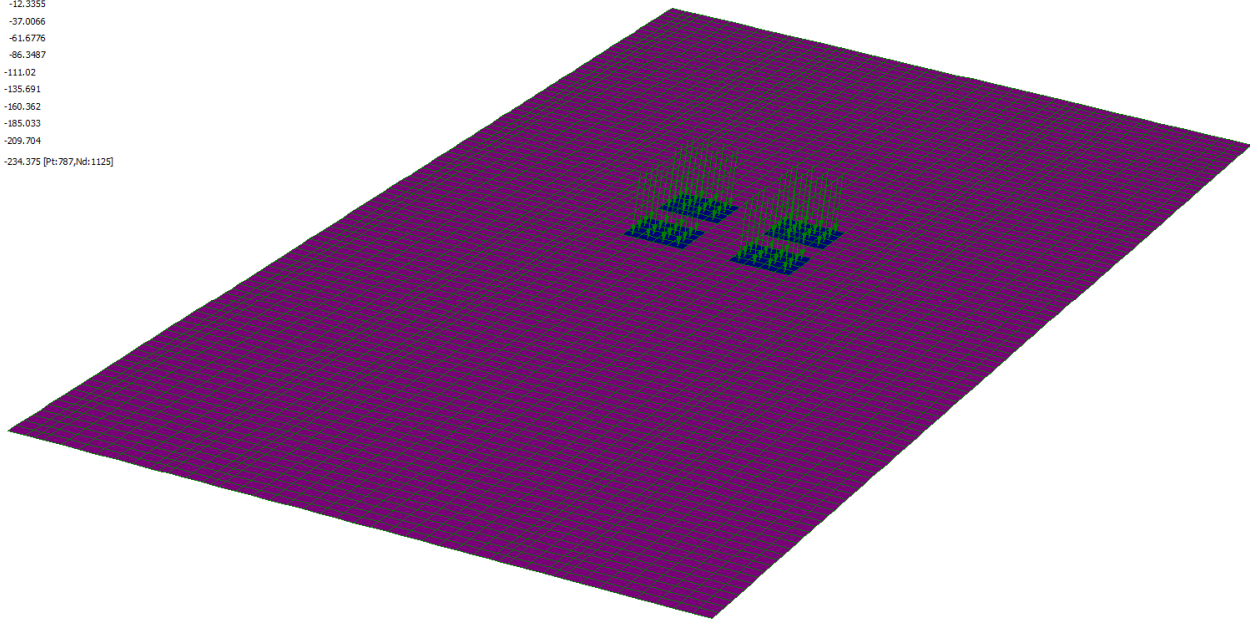
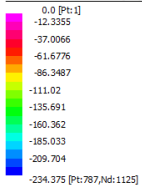


Plate Global Pressure Axis 2 [kPa]



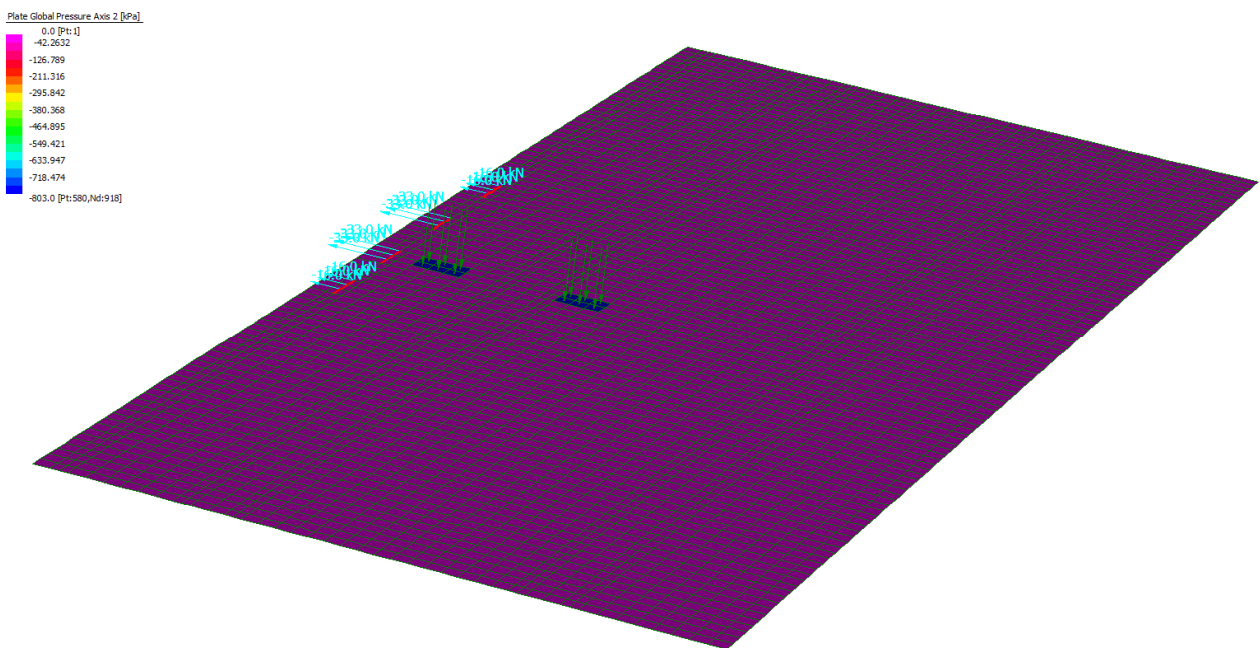


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

E' stato considerato anche il caso di urto contro sicurvia associato allo schema di carico 2. La norma al 3.6.3.3.2 impone come urto una forza di 100 kN applicata a 1.00m sopra il piano di marcia. Nel presente progetto si è considerata cautelativamente una forza di 300 kN distribuita su 4 montanti a passo 1.5m, in modo che il primo ed ultimo assorbono 50kN e i due montanti centrali assorbono 100 kN cadauno.



Si riportano di seguito l'inviluppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

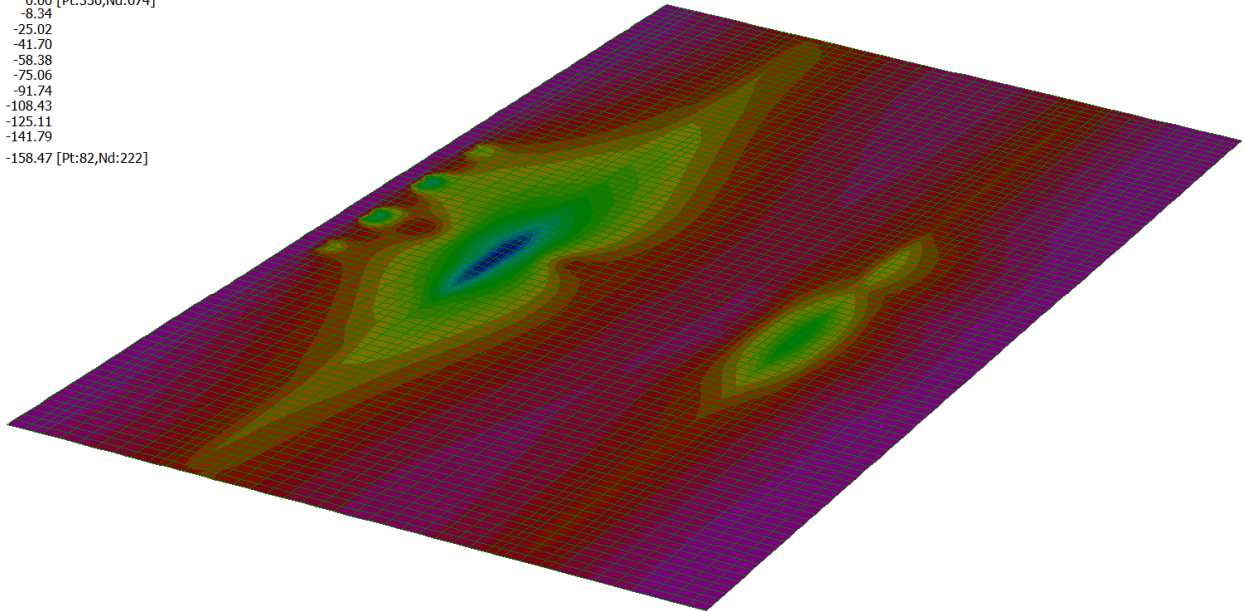
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Inviluppo Momenti flettenti SLU M-:

Plate Moment:XX (kN.m/m)

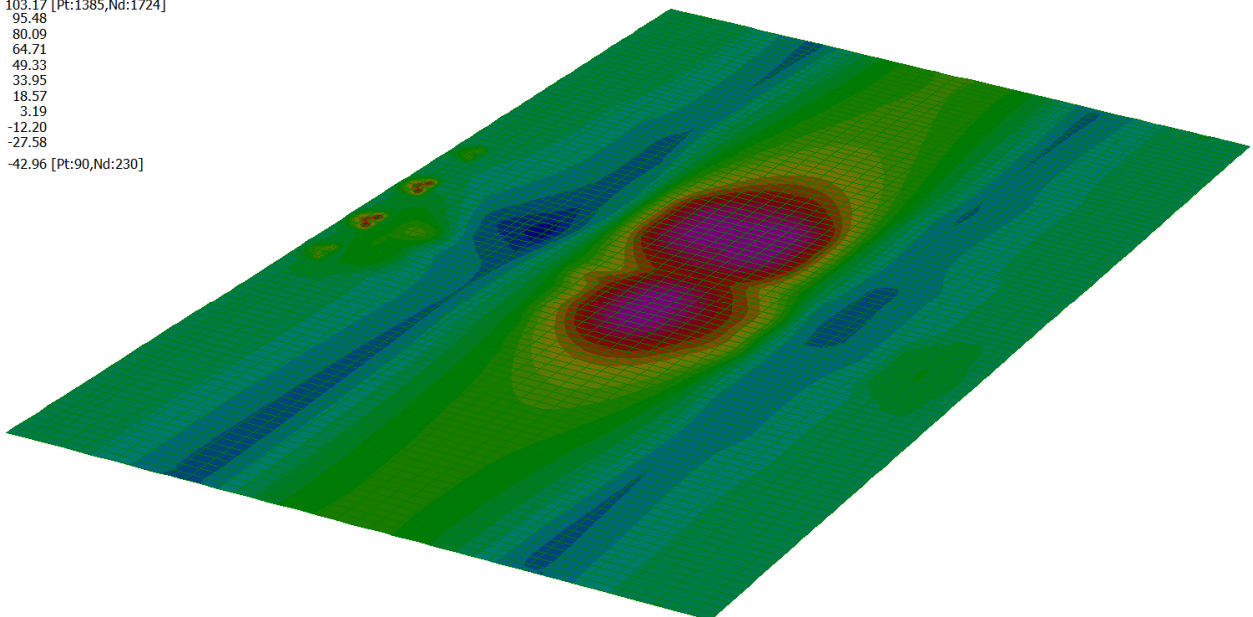
0.00 [Pt:336,Nd:674]
-8.34
-25.02
-41.70
-58.38
-75.06
-91.74
-108.43
-125.11
-141.79
-158.47 [Pt:82,Nd:222]



## Inviluppo Momenti flettenti SLU M+:

Plate Moment:XX (kN.m/m)

103.17 [Pt:1385,Nd:1724]
95.48
80.09
64.71
49.33
33.95
18.57
3.19
-12.20
-27.58
-42.96 [Pt:90,Nd:230]



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

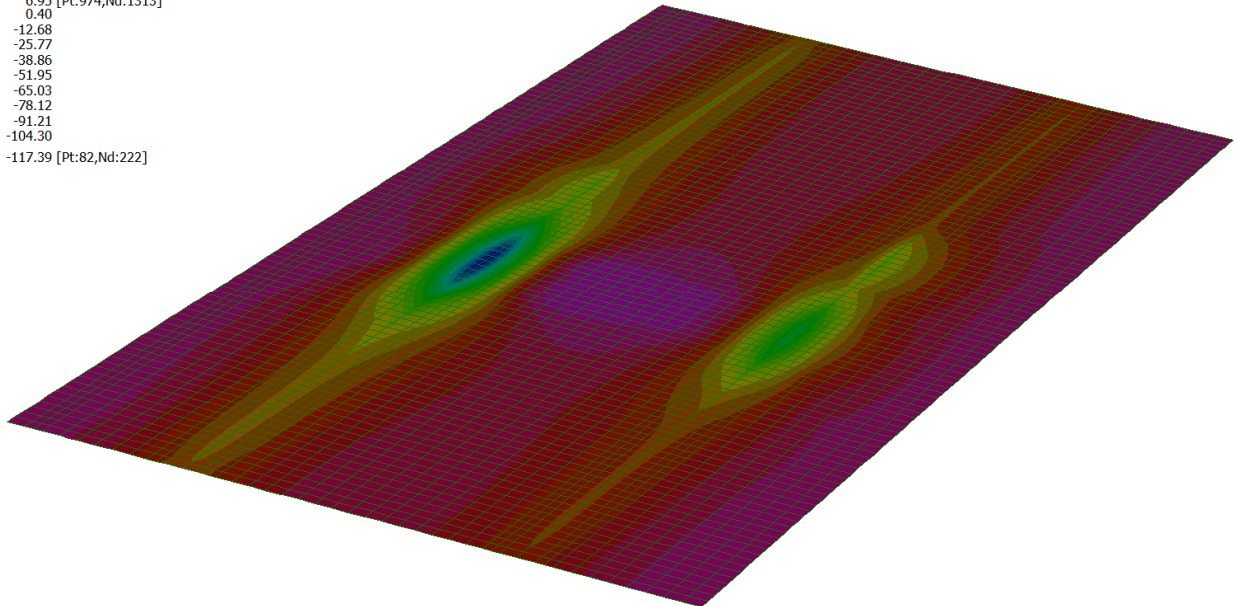
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Inviluppo Momenti flettenti SLE Rara M-:

Plate Moment:XX (kN.m/m)

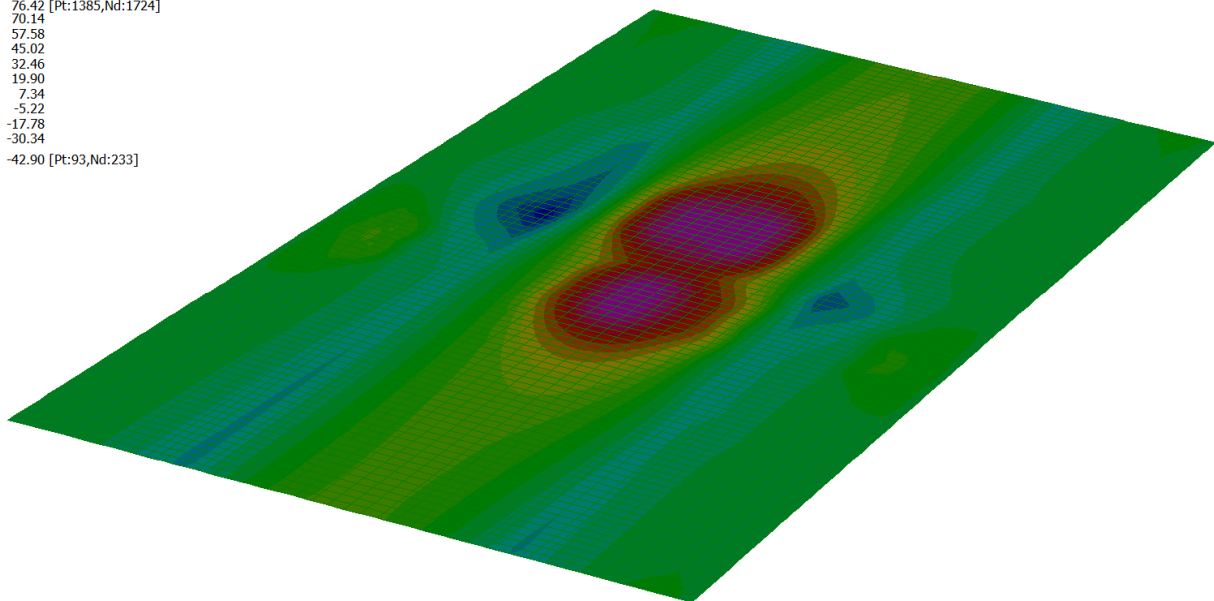
6.95 [Pt:974,Nd:1313]
0.40
-12.68
-25.77
-38.86
-51.95
-65.03
-78.12
-91.21
-104.30
-117.39 [Pt:82,Nd:222]



## Inviluppo Momenti flettenti SLE Rara M+:

Plate Moment:XX (kN.m/m)

76.42 [Pt:1385,Nd:1724]
70.14
57.58
45.02
32.46
19.90
7.34
-5.22
-17.78
-30.34
-42.90 [Pt:93,Nd:233]



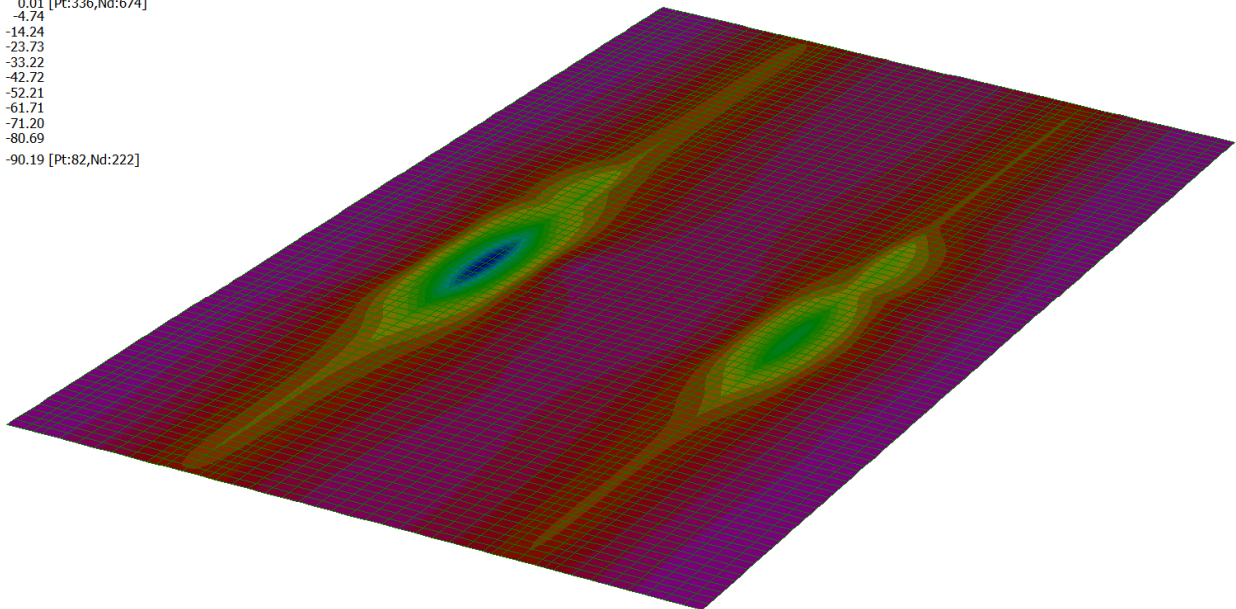
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

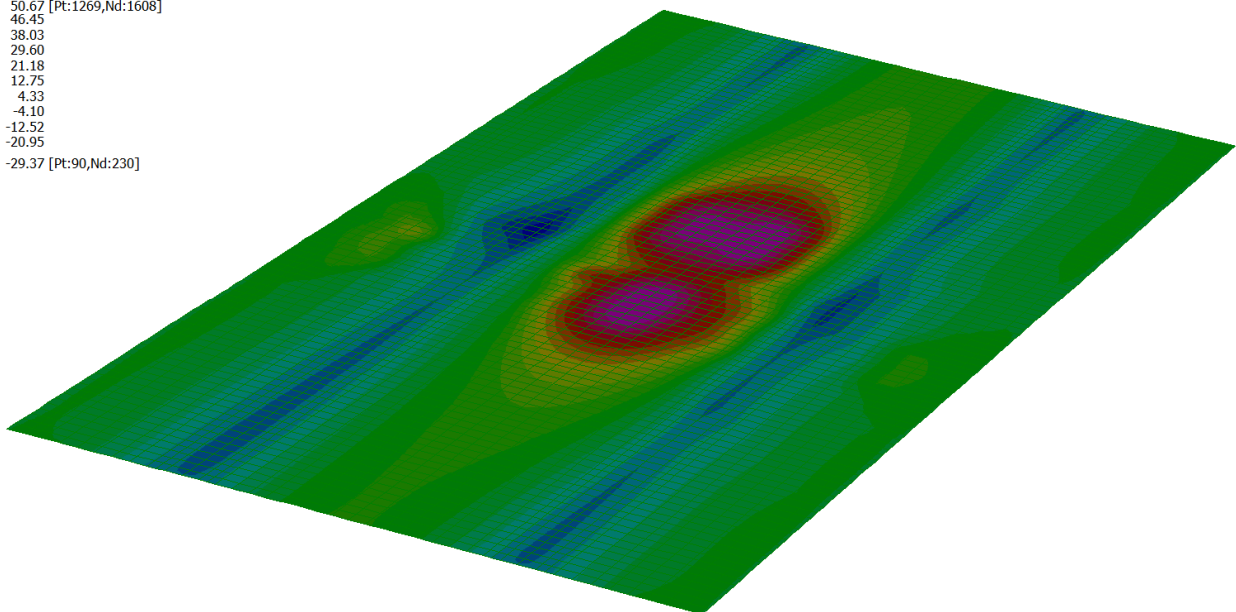
## Inviluppo Momenti flettenti SLE Frequente M-:

Plate Moment:XX (kN.m/m)  
0.01 [Pt:336,Nd:674]  
-4.74  
-14.24  
-23.73  
-33.22  
-42.72  
-52.21  
-61.71  
-71.20  
-80.69  
-90.19 [Pt:82,Nd:222]



## Inviluppo Momenti flettenti SLE Frequente M+:

Plate Moment:XX (kN.m/m)  
50.67 [Pt:1269,Nd:1608]  
46.45  
38.03  
29.60  
21.18  
12.75  
4.33  
-4.10  
-12.52  
-20.95  
-29.37 [Pt:90,Nd:230]



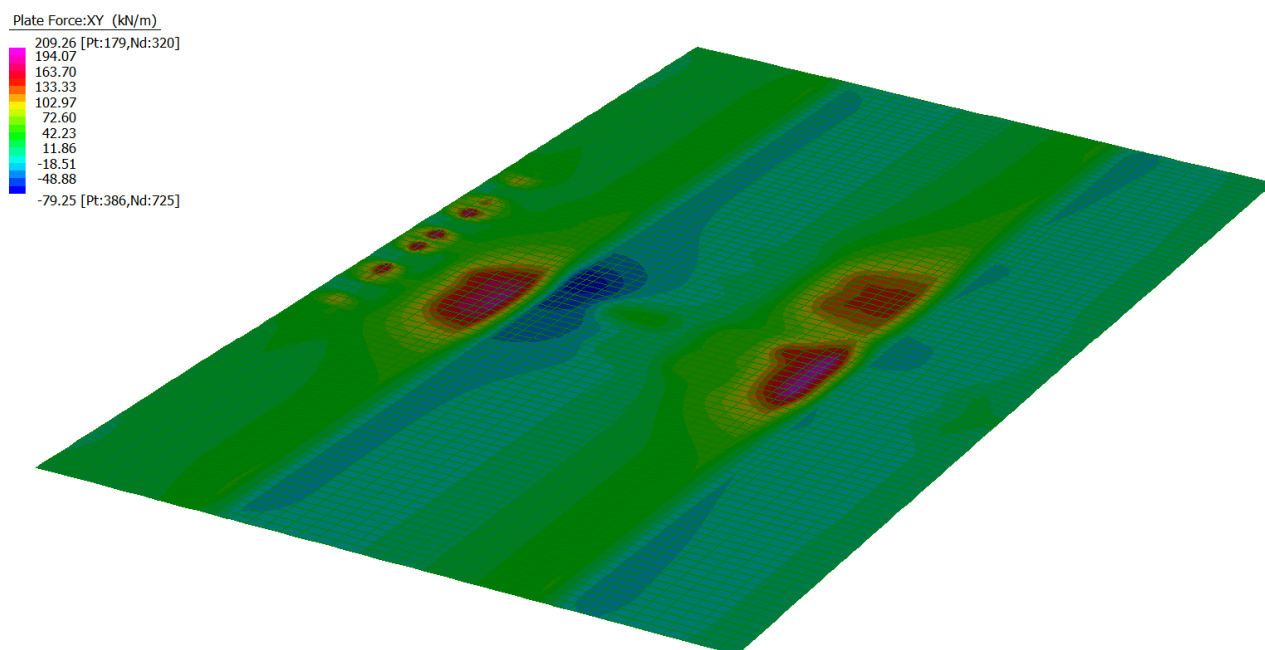


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Inviluppo Taglio SLU:



## 11.2.3.2. Riepilogo sollecitazioni

		<i>Mezzeria</i>	<i>Appoggio</i>
		<i>M+</i>	<i>M-</i>
<b>M SLU</b>	kNm	+103	-158
<b>M Rara</b>	kNm	+76	-117
<b>M Freq</b>	kNm	+51	-90
<b>T SLU</b>	kN	-	209

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2.3.3. Verifica a flessione M- SLU

Caratteristiche sezioni di verifica		
Base	100	cm
Altezza	24.75	cm
Armatura superiore	$\varnothing 20/20 + \varnothing 16/20$	
Armatura inferiore	$\varnothing 14/40$	

Per questa verifica è necessario tenere conto della trazione indotta in soletta dall'urto su sicurvìa. Si ottiene quindi una verifica a tensoflessione. Questa trazione, nella sezione di massimo momento negativo, risulta pari a 72 kN/m. La verifica diventa:

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** [Empty field]
- N° figure elementari:** 1 (Zoom)
- N° strati barre:** 2 (Zoom)
- Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	24.75
- Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.75	4.5
2	3.85	22
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n. N<sub>Ed</sub> = -73 kN, M<sub>xEd</sub> = 0 kNm, M<sub>yEd</sub> = 0 kNm.
- P.to applicazione N:** Centro. xN = 0, yN = 0.
- Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato.
- Materiali:** B450C, C32/40. ε<sub>su</sub> = 67.5‰, f<sub>yd</sub> = 391.3 N/mm², E<sub>s</sub> = 210,000 N/mm², ε<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> = 15, ε<sub>syd</sub> = 1.863‰, σ<sub>s,adm</sub> = 255 N/mm².
- Results:** M<sub>xRd</sub> = -173.2 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> = 9.585‰, d = 20.25 cm, x = 5.417, x/d = 0.2675, δ = 0.7744.
- Metodo di calcolo:** S.L.U.+, S.L.U.-, Metodo n.
- Tipo flessione:** Retta, Deviata.
- Buttons:** Calcola MRd, Dominio M-N, L<sub>0</sub> = 0 cm, Col. modello, Precompresso.

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2.3.4. Verifica a flessione M+ SLU

Caratteristiche sezioni di verifica		
Base	100	cm
Altezza	29.75	cm
Armatura superiore	Ø20/20	
Armatura inferiore	Lastra sp.5mm	

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	29.75

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	4.5
2	50	29.5

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  -90 kNm

M<sub>yEd</sub>  0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**

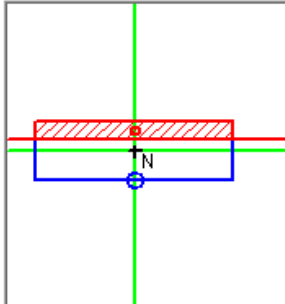
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.



**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>	210.000 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>	1.863 ‰	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>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2.3.5. Verifica a limitazione tensioni M- Rara

Verifica C.A. S.L.U. - File: M-

File **Materiali** Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	24.75

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.75	4.5
2	3.85	22

**Tipologia Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  -117 kNm

M<sub>yEd</sub>  0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Materiali**

**B450C** **C32/40**

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰

τ<sub>c1</sub>  ‰

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

Avendo  $\sigma_c = 13.88 \text{ MPa} < 0.6 \times 32 = 19.2 \text{ MPa}$  e  $\sigma_s = 262.9 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2.3.6. Verifica a fessurazione M- frequente

**Verifica C.A. S.L.U. - File: M-**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N\* figure elementari**  **Zoom** **N\* strati barre**  **Zoom**

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	24.75

N*	As [cm²]	d [cm]
1	25.75	4.5
2	3.85	22

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Materiali**

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	210,000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	18.13
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.863 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.7333
		$\tau_{c1}$	2.114

$\sigma_c$  -10.68 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  202.2 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  0.9629 ‰  
 d 20.25 cm  
 x 8.951 x/d 0.442  
 $\delta$  0.9925

**Verifica** **N\* iterazioni:**

Precompresso

Si riporta la verifica considerando una limitazione di apertura fessura pari a  $w_1 = 0.2\text{mm}$  corrispondente a condizione ambientale molto aggressiva.

Nella verifica si tiene conto del contributo alla fessurazione del ritiro aumentando la  $\epsilon_{sm}$  del valore  $\epsilon_{sh}$  che per il calcestruzzo in oggetto è pari a 0.00012.

### Caratteristiche dei materiali

Coefficiente di omogeneizzazione cls tesocompr.	$n' =$	0.6	
Coefficiente di omogeneizzazione acc.-cls	$n =$	15	
Classe cls	$R_{ck} =$	40	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico acciaio	$E_s =$	2.1E+05	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico cls	$E_{cm} =$	33643	N/mm <sup>2</sup>

### Caratteristiche geometriche della sezione

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

Altezza	H =	24.75	cm
Larghezza	B =	100	cm
Area acciaio teso	A <sub>s</sub> =	25.75	cm <sup>2</sup>
Copri ferro baricentro acciaio teso	c <sub>s</sub> =	4.50	cm
Area acciaio compresso	A' <sub>s</sub> =	3.85	cm <sup>2</sup>
Copri ferro acciaio compresso	c's =	5	cm
Ricoprimento barre esterne tese	c =	3.5	cm
Ricoprimento barre interne tese	c+S =	0.0	cm
Diametro massimo barre tese	Φ =	2	cm
<b>Sezione non fessurata: formazione fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di esercizio	M <sub>es</sub> =	90.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di esercizio	N <sub>es</sub> =	0.00	kN
Resistenza media a trazione semplice del cls	f <sub>ctm</sub> =	3.10	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione per fless. del cls	σ <sub>ct</sub> =	2.58	N/mm <sup>2</sup>
Tensione al lembo teso cls (cls reagente a traz.)	σ <sub>c</sub> =	2.37	N/mm <sup>2</sup>
<b>Sezione fessurata: apertura fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di fessurazione	M =	90.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di fessurazione	N =	0.00	kN
Distanza asse neutro da lembo compresso	x =	8.95	cm
Tensione cls compresso	σ <sub>c</sub> =	-10.68	N/mm <sup>2</sup>
Tensione barra esterna tesa	σ <sub>s</sub> =	202.20	N/mm <sup>2</sup>
<b>Distanza media fra due fessure attigue</b>			
Coefficiente k <sub>2</sub>	k <sub>2</sub> =	0.5	
Tensioni nel calcestruzzo teso	σ <sub>1</sub> =	6.92	N/mm <sup>2</sup>
	σ <sub>2</sub> =	-3.92	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente k <sub>3</sub>	k <sub>3</sub> =	3.400	
Larghezza efficace	b <sub>eff</sub> =	100.0	cm
Altezza efficace	d <sub>eff</sub> =	5.3	cm
Area efficace	A <sub>ceff</sub> =	526.7	cm <sup>2</sup>
Diametro equivalente	Φ <sub>eq</sub> =	1.822	cm
Area armature poste in A <sub>ceff</sub>	A <sub>s</sub> =	25.75	cm <sup>2</sup>
Distanza media fra due fessure attigue	Δ <sub>smax</sub> =	18.235	cm
<b>Deformazione unitaria media</b>			
Coefficiente k <sub>t</sub>	k <sub>t</sub> =	0.4	0.4 per carichi di lunga durata
Coefficiente k <sub>1</sub>	k <sub>1</sub> =	0.8	
Coefficiente k <sub>4</sub>	k <sub>4</sub> =	0.425	
Deformazione unitaria media	e <sub>sm</sub> =	9.25E-04	
<b>Ampiezza fessura</b>	w <sub>d</sub> =	0.169	mm
<b>Apertura massima fessura</b>	w <sub>amm</sub> = w <sub>1</sub>	0.2	mm

La verifica è quindi soddisfatta avendo  $w < w_1$ .

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.2.3.7. Verifica a Taglio SLU

Per la verifica a taglio si è considerato il contributo resistente dei bracci inclinati dei tralici, che sono staffe  $\phi 10/20$  a passo 40cm. Risulta:

$V_{sdu}$	209	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	32	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	18.00	cm
$A_{sl}$	25.75	cm <sup>2</sup>
$c$	5.00	cm
$\alpha$	66	gradi
$\alpha$	1.15	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$A_{sw}$	3.90	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20.00	cm
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	154.538	kN
$V_{Rd,min}$	100.800	kN
$\rho_{sw,min}$	0.001006	
$s_{l,max}$	19.51	cm
$A_{sw,min}$	1.792	cm <sup>2</sup> / $s_{l,max}$
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	596.646	kN
$V_{Rsd}$	332.613	kN
$V_{Rd}$	332.613	kN

Si ha 332 kN > 209 kN. La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Si riporta anche la verifica a scorrimento del traliccio rispetto al lastra predalle, che risulta saldato a quest'ultima tramite cordone lato 5mm e sviluppo 20cm. Questa saldatura deve essere in grado di trasmettere lo scorrimento dovuto al taglio di progetto SLU pari a:

$$T_{\text{traliccio}} = 0.40 \times 209 = 83.6 \text{ kN}$$

larghezza sezione	400	mm
spessore cls	247.5	mm
spessore lastra	5	mm
coeff om	6	
lunghezza cordone	30	mm
lato cordone	5	mm
sp cordone	3.54	mm
area om cls	111000	mm <sup>2</sup>
mom st risp base	12776250	mm <sup>3</sup>
quota baricentro risp base	115.10	mm
mom in	675980110	mm <sup>4</sup>
mom st lastra risp bar	1351216	mm <sup>3</sup>
mpm st cls risp bar	1351216	mm <sup>3</sup>
fyk acciaio	355	Mpa
$\beta_1$	0.7	
Taglio	83.6	kN
Scorrimento	167	N/mm
num trasv	2	
passo long	200	mm
scorr su 1 saldatura	17	kN
$\tau_{//}$ saldatura	<b>158</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
$\beta_1$ fyk	<b>248.5</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
Verifica	Soddisfatta	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.3. FUSTO SPALLA

Vengono definiti Integrali i ponti che presentano una spalla fondata su pali solidarizzata all'impalcato mediante un collegamento rigido che può essere realizzato con varie tecnologie. Il risultato di tale connessione è una struttura dotata di nodi in cui si ha trasmissione delle sollecitazioni normali, taglianti e flettenti dall'impalcato alla spalla e viceversa.

La struttura risulta quindi essere assimilabile ad un portale al quale sono contemporaneamente applicati i carichi tipici degli impalcati da ponte e delle spinte del terreno.

Si ha quindi trasmissione delle sollecitazioni tra spalla ed impalcato secondo lo schema seguente:

<b>Impalcato</b>		<b>Spalla</b>
Momento flettente	↔	Momento flettente
Sforzo normale	↔	Taglio
Taglio	↔	Sforzo normale

### 11.3.1. Combinazioni di verifica

Gli stati limite ultimi delle opere interrate si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Le verifiche agli stati limite ultimi sono eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU) - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR) - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1" e "Approccio 2", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 5.1.V per i parametri geotecnici e le azioni.

- Approccio 1 - Combinazione 1 →(A1+M1+R1) → STR
- Approccio 2 →(A1+M1+R3) → GEO

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per la resistenza del sistema.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per la condizione sismica le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto, con i valori dei coefficienti parziali sopra indicati (7.11.1 NTC). Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per opere del tipo in oggetto è lecito assumere valore nullo per il coefficiente  $\psi_{2i}$ .

La combinazione direzionale dell'azione sismica è stata effettuata sulla base delle seguenti formule:

$$E = \pm E_x \pm 0.3E_y \pm 0.3E_z \quad \text{combinazione "SISMA LONGITUDINALE"}$$

$$E = \pm E_y \pm 0.3E_x \pm 0.3E_z \quad \text{combinazione "SISMA TRASVERSALE"}$$

$$E = \pm 0.3E_y \pm 0.3E_x \pm E_z \quad \text{combinazione "SISMA VERTICALE"}$$

## 11.3.2. Sollecitazioni

Si riportano di seguito le sollecitazioni nella sezione di incastro della spalla nell'impalcato. Le sollecitazioni sono relative ad un metro lineare di profondità di spalla. Le sollecitazioni risultano le medesime già presentate al capitolo 10.

Per quanto riguarda invece l'azione assiale a metro di profondità la si è calcolata manualmente come:

- $P_{imp} = 38.93 \times 2 \times 45.40 / 2 / 8.9 = 199 \text{ kN}$
- $P_{PePo} = 14.12 \times 2 \times 47.34 / 2 / 8.9 = 75 \text{ kN}$
- $P_{Spalla} = 1 \times 2.4 \times 3.82 \times 25 = 229 \text{ kN}$
- $P_{traffico} = (600+400)/8.9 + (600 \times 2 - 400 \times 1) / (8.9^2/6) + (27+7.5) \times 47.34 / 2 / 8.9 + (27 \times 2 - 7.5 \times 1) \times 47.34 / 4 / (8.9^2/6) = 348 \text{ kN}$
- $P_{vento} = (1.21 \times 45.4 \times 4.51 / 2 \times 4.9) / (8.9^2/6) = 46 \text{ kN}$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Per quanto riguarda l'azione sismica si è proceduto in due differenti modi per la direzione trasversale e longitudinale. In direzione longitudinale si sono estratti i risultati direttamente dal modello di calcolo secondo quanto descritto nel paragrafo di modellazione ed analisi sismica.

Mentre per quanto riguarda la direzione trasversale si è effettuato un calcolo manuale dettagliato di seguito. Si riporta l'accelerazione sismica orizzontale e verticale:

$$a_h (T=0) = 0.258g$$

$$a_v (T=0) = 0.087g$$

Le azioni sismiche in direzione trasversale sono generate dai pesi propri di impalcato e spalle e dai pesi portati, che su una spalla producono un carico verticale di:

$$P_{PP} = (38.93+14.12) \times 2 \times 45.40 / 2 = 2408 \text{ kN}$$

$$P_{Spalla} = 2.4 \times 8.90 \times 3.82 \times 25 = 2040 \text{ kN}$$

$$P_{tot \text{ su spalla}} = 2408 + 2040 = 4448 \text{ kN}$$

La forza sismica orizzontale trasversale diventa:

$$F_H = 4448 \times 0.258 = 1147 \text{ kN}$$

Ed il momento flettente a base spalla:

$$M = 2408 \times 0.258 \times 3.8 + 2040 \times 0.258 \times 3.80 / 2 = 3361 \text{ kNm}$$

Di conseguenza il carico verticale a base fusto generato dal sisma trasversale principale e dal sisma verticale secondario al 30% risulta pari a:

$$N = 0.30 \times (2408 + 2040) \times 0.087 / 8.90 + 3361 / (8.9^2 / 6) = \pm 267 \text{ kN}$$

Mentre il taglio risulta pari a:

$$T = 1147 / 8.90 = 129 \text{ kN}$$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

In definitiva si ottengono le seguenti sollecitazioni caratteristiche dai vari casi di carico:

		Pesi Strutt.	PePo + Spinte	Traffico Comp.	Traffico Traz.	Termica Giorn.	Termica Stag.	Ritiro	ovraccarico	Vento Comp.	Vento Traz.	Sisma - Long. princ	Sisma - Trasv. princ
<b>N</b>	kN/m	428	75	348	-49	0	0	0	0	46	-46	80	267
<b>T</b>	kN/m	0	152	358	-	77	320	-	4	49	-	153	163
<b>M</b>	kNm/m	0	-598	-1888	-	-51	-180	-	-30	-240	-	187	56

Ed in combinazione SLU e SLE risulta:

		SLU	SLE rara	SLE Fr	SLE QP	SIS SLV Long	SIS SLV Trasv
<b>N max comp.</b>	kN	1190	879	764	503	583	770
<b>N min comp.</b>	kN	375	426	466	503	423	236
<b>T</b>	kN	1095	782	622	351	543	553
<b>M</b>	kNm	-3821	-2799	-2152	-714	-550	-681

## 11.3.3. Verifiche

### 11.3.3.1. Verifiche a flessione SLU

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Base	100	cm
Altezza	240	cm
Armatura testa ext.	Ø26/10	
Armatura tesa int.	Ø24/20	
Armatura compressa	Ø20/20	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Verifica C.A. S.L.U. - File: FUSTO SPALLA

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	240

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53.1	7
2	22.62	75
3	15.71	226

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M <sub>xEd</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kNm
M <sub>yEd</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C32/40</b>
ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> ‰	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub> <input type="text" value="391.3"/> N/mm²	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/>
E <sub>s</sub> <input type="text" value="210,000"/> N/mm²	f <sub>cd</sub> <input type="text" value="18.13"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input type="text" value="0.8"/> ?
ε <sub>syd</sub> <input type="text" value="1.863"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="12.25"/>
σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0.7333"/>
	τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="2.114"/>

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd

L<sub>o</sub>  cm

Precompresso

3821 < 6058 → Verifica soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.3.3.2. Verifiche a taglio SLU

$V_{sdu}$	1095	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	32	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	235.00	cm
$As_l$	75.72	cm <sup>2</sup>
$c$	5.00	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$As_w$	1.31	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20.00	cm
$f_{cd}$	18.133	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd_{0,05}}$	1.735	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	792.839	kN
$V_{Rd,min}$	683.075	kN
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	6612.072	kN
$V_{Rsd}$	1353.582	kN
$V_{Rd}$	1353.582	kN

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.3.3.3. Verifiche Limitazione tensione SLE Rara

Verifica C.A. S.L.U. - File: FUSTO SPALLA

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	240

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53.1	7
2	22.62	75
3	15.71	226

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C32/40</b>
$\epsilon_{su}$ <b>67.5</b> ‰	$\epsilon_{c2}$ <b>2</b> ‰
$f_{yd}$ <b>391.3</b> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <b>3.5</b> ‰
$E_s$ <b>210,000</b> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <b>18.13</b>
$E_s/E_c$ <b>15</b>	$f_{cc}/f_{cd}$ <b>0.8</b> ?
$\epsilon_{syd}$ <b>1.863</b> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <b>12.25</b>
$\sigma_{s,adm}$ <b>255</b> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <b>0.7333</b>
	$\tau_{c1}$ <b>2.114</b>

$\sigma_c$  **-4.575** N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  **209** N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$  **0.9952** ‰  
d **233** cm  
x **57.6** x/d **0.2472**  
 $\delta$  **0.749**

**Verifica**  
N° iterazioni:   
 Precompresso

Avendo  $\sigma_c = 4.57 \text{ MPa} < 0.6 \times 32 = 19.2 \text{ MPa}$  e  
 $\sigma_s = 209 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.3.3.4. Verifiche a Fessurazione SLE Frequente

Verifica C.A. S.L.U. - File: FUSTO SPALLA

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**TITOLO :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	240

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53.1	7
2	22.62	75
3	15.71	226

**Tipologia Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**File**

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Materiali**

**B450C** **C32/40**

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>

E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  τ<sub>c1</sub>

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

Nota la tensione sull'acciaio pari a 130 MPa si riporta la verifica a fessurazione:

### Caratteristiche dei materiali

Coefficiente di omogeneizzazione cls tesocompr.	n' =	0.6	
Coefficiente di omogeneizzazione acc.-cls	n =	15	
Classe cls	R <sub>ck</sub> =	40	N/mm²
Modulo elastico acciaio	E <sub>s</sub> =	2.1E+05	N/mm²
Modulo elastico cls	E <sub>cm</sub> =	33643	N/mm²

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

### Caratteristiche geometriche della sezione

Altezza	H =	240	cm
Larghezza	B =	100	cm
Area acciaio teso	A <sub>s</sub> =	75.72	cm <sup>2</sup>
Copriferro baricentro acciaio teso	c <sub>s</sub> =	7.00	cm
Area acciaio compresso	A' <sub>s</sub> =	15.71	cm <sup>2</sup>
Copriferro acciaio compresso	c's =	7	cm
Ricoprimento barre esterne tese	c =	7.0	cm
Ricoprimento barre interne tese	c+S =	0.0	cm
Diametro massimo barre tese	Φ =	2.6	cm

### Sezione fessurata: apertura fessure

Momento flettente in condizioni di fessurazione	M =	90.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di fessurazione	N =	0.00	kN
Distanza asse neutro da lembo compresso	x =	69.04	cm
Tensione cls compresso	σ <sub>c</sub> =	-3.65	N/mm <sup>2</sup>
Tensione barra esterna tesa	σ <sub>s</sub> =	130.00	N/mm <sup>2</sup>

### Distanza media fra due fessure attigue

Coefficiente k <sub>2</sub>	k <sub>2</sub> =	0.5	
Coefficiente k <sub>3</sub>	k <sub>3</sub> =	3.400	
Larghezza efficace	b <sub>eff</sub> =	100.0	cm
Altezza efficace	d <sub>eff</sub> =	17.5	cm
Area efficace	A <sub>ceff</sub> =	1750.0	cm <sup>2</sup>
Diametro equivalente	Φ <sub>eq</sub> =	2.600	cm
Area armature poste in A <sub>ceff</sub>	A <sub>s</sub> =	53.10	cm <sup>2</sup>
Distanza media fra due fessure attigue	Δ <sub>smax</sub> =	38.367	cm

### Deformazione unitaria media

Coefficiente k <sub>t</sub>	k <sub>t</sub> =	0.4	0.4 per carichi di lunga durata
Coefficiente k <sub>1</sub>	k <sub>1</sub> =	0.8	
Coefficiente k <sub>4</sub>	k <sub>4</sub> =	0.425	
Deformazione unitaria media	e <sub>sm</sub> =	3.88E-04	
<b>Ampiezza fessura</b>	w <sub>d</sub> =	0.149	mm
<b>Apertura massima fessura</b>	w <sub>amm</sub> = w <sub>1</sub>	0.2	mm

La fessura ha un'apertura di 0.149mm < w<sub>1</sub>=0.2mm. Quindi risulta automaticamente verificata anche la fessurazione in combinazione quasi permanente.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4. PALI

### 11.4.1. Criteri di calcolo

In ottemperanza al D.M. del 17.01.2018 (Nuove norme tecniche per le costruzioni), i calcoli di portanza delle fondazioni sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Nelle verifiche di sicurezza sono stati presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Le combinazioni di carico sono state determinate in riferimento al par. 6.4.3.1 del D.M. 14/01/2018 e di seguito riportate:

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

$$\sum_{i=1}^3 \gamma_{gi} \cdot g_i + \sum_{i=1}^4 \gamma_{ei} \cdot \varepsilon_i + \gamma_Q \cdot q_1 + \sum_{i=2}^7 \gamma_{qi} \cdot \psi_{0i} \cdot q_i$$

Le combinazioni di carico significative utilizzate per le verifiche geotecniche e strutturali sono state condotte in relazione alla stratigrafia di progetto secondo l'Approccio 2, il quale prevede per le verifiche geotecniche nei riguardi dei carichi assiali e trasversali:

Le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1" e "Approccio 2", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 5.1.V per i parametri geotecnici e le azioni.

- Approccio 1 - Combinazione 1 →(A1+M1+R1) → STR
- Approccio 1 - Combinazione 2 →(A2+M2+R2) → GEO → Verifica di stabilità globale intesa come mobilitazione resistenza passiva terreno di valle
- Approccio 2 →(A1+M1+R3) → GEO → Portanza verticale pali

Il valore di progetto  $R_d$  della resistenza geotecnica si ottiene a partire dal valore  $R_k$  calcolato applicando i coefficienti parziali ai parametri geotecnici del terreno M1 e applicando i coefficienti parziali globali  $\gamma_R$  alla resistenza totale.

Si riportano di seguito i coefficienti sopra menzionati:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
	$\gamma_R$			
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>o)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>o)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nel caso in esame si ottiene:

$$\gamma_b = 1.35$$

$$\gamma_s = 1.15$$

$$\xi_3 = 1.65 \text{ (avendo 2 verticali indagate)}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

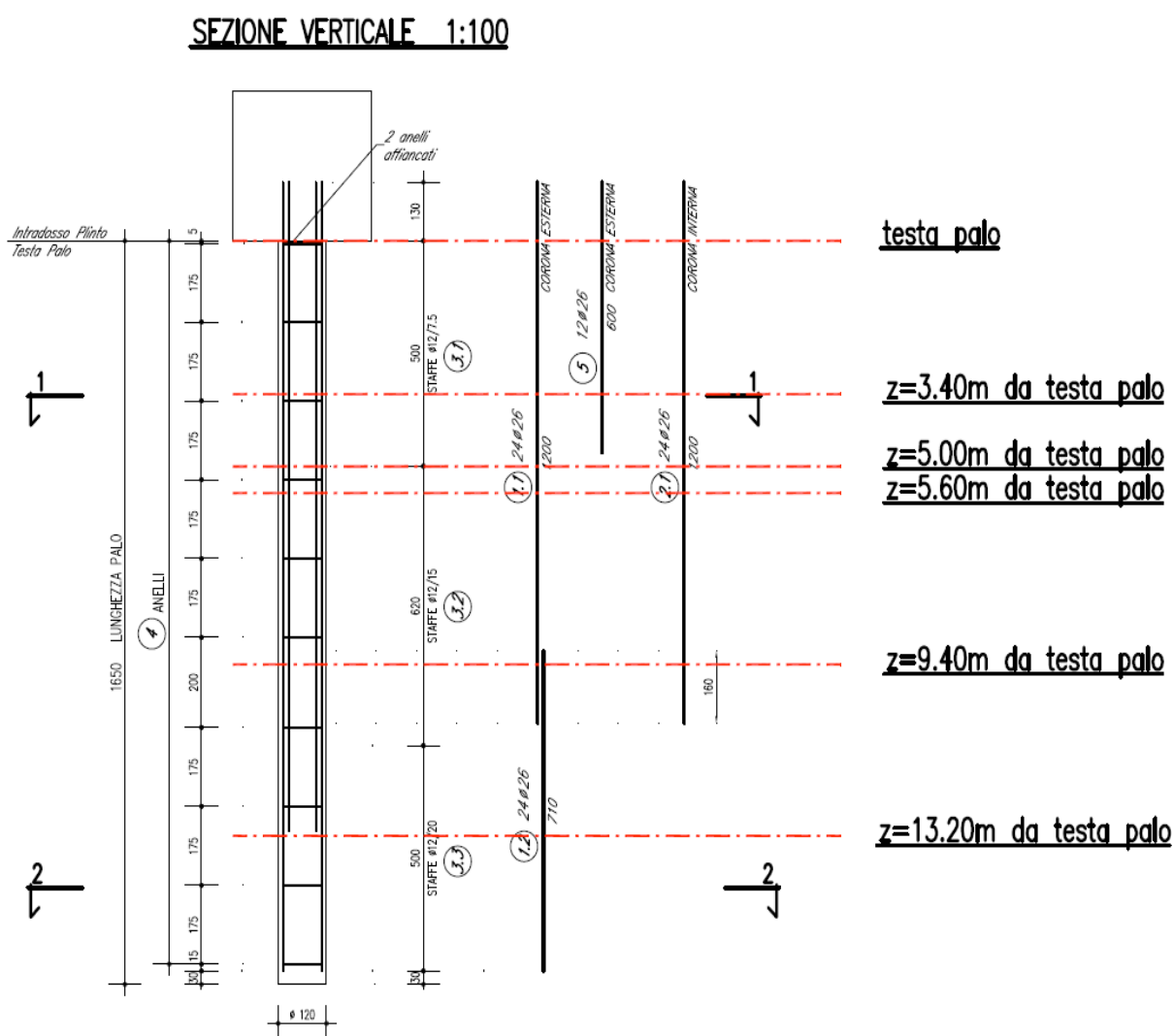
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.2. Sollecitazioni

Si riportano di seguito le sollecitazioni nei pali di fondazione alle varie quote di interesse, in quanto è presente un calo di armature (long e staffe) lungo lo sviluppo del palo.

Si riporta nel seguito schema, le quote di calcolo delle sollecitazioni sulla base della distinta armature (ci si arresta ad una lunghezza pari alla lunghezza di ancoraggio delle barre longitudinali per definire queste quote):



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le verifiche vengono quindi eseguite con le seguenti armature:

	Arm. Long.	Staffe
Testa palo	60φ26	φ12/7.5
z=3.4m da t.p.	48φ26	φ12/7.5
z=5.0m da t.p.	48φ26	φ12/15
z=5.6m da t.p.	48φ26	φ12/15
z=9.4m da t.p.	24φ26	φ12/15
z=13.2m da t.p.	24φ26	φ12/15

Si riportano di seguito le sollecitazioni nei pali. Le sollecitazioni risultano quelle derivanti dal modello di ParatiePlus, i cui diagrammi sono esposto nel Capitolo 10.

		Pesi Strutt.	PePo + Spinte	Traffico Comp.	Traffico Traz.	Termica Giorn.	Termica Stag.	Ritiro	Sovraccarico	Vento Comp.	Vento Traz.	Sisma - Long.	Sisma - Trasv.	
<b>N</b>		kN	952	167	732	-53	0	0	0	89	-89	156	521	
<b>T</b>	testa palo	kN	0	106	259	-	5	25	0	13	-	155	173	
	z=5m da t.p.	kN	0	41	79	-	10	18	5	10	-	17	40	
	z=9.4m da t.p.	kN	0	74	11	-	2	8	0	21	2	4	5	
<b>M</b>	testa palo	kNm	0	-231	-891	-	-91	-108	-42	24	-105	-	-151	-434
	z=3.4m da t.p.	kNm	0	73	-270	-	-59	-205	-28	30	-31	-	97	105
	z=5.6m da t.p.	kNm	0	172	-55	-	36	172	-16	53	-7	-	64	37
	z=9.4m da t.p.	kNm	0	216	60	-	10	61	-4	67	8	-	41	66
	profondità	kNm	0	163	113	-	76	246	-98	31	2	-	99	83

Per quanto riguarda invece l'azione a palo la si è calcolata manualmente come:

- $P_{imp} = 38.93 \times 2 \times 45.40 / 2 / 4 = 442 \text{ kN}$
- $P_{PePo} = 14.12 \times 2 \times 47.34 / 2 / 4 = 167 \text{ kN}$
- $P_{Spalla} = 8.9 \times 2.4 \times 3.82 \times 25 / 4 = 510 \text{ kN}$
- $P_{traffico} = 15.43 \times 47.34 / 2 + 367 = 732 \text{ kN}$

In cui il carico 15.43 kN/m e 367 kN sono stati ottenuti tramite una redistribuzione alla Courbon dei carichi stradali sull'impalcato, fino ai pali, come di seguito mostrato:

N°Travi	4	APPOGGIO ESISTENTE	Carico_F	600 kN	Carico_F	400 kN	Carico_F	0 kN	TOT (kN)			
			eccentricità	-2 m	eccentricità	1 m	eccentricità	1.15 m				
d_trave 1	-3.08 m	SI	k1	0.5427	325.61	k1	0.1037	41.46	k1	0.0817	0.00	367.07
d_trave 2	-1.03 m	SI	k2	0.3476	208.54	k2	0.2012	80.49	k2	0.1939	0.00	289.02
d_trave 3	1.03 m	SI	k3	0.1524	91.46	k3	0.2988	119.51	k3	0.3061	0.00	210.98
d_trave 4	3.08 m	SI	k4	-0.0427	-25.61	k4	0.3963	158.54	k4	0.4183	0.00	132.93

N°Travi	4	APPOGGIO ESISTENTE	Carico_F	27 kN	Carico_F	7.5 kN	Carico_F	0 kN	TOT (kN)			
			eccentricità	-2 m	eccentricità	1 m	eccentricità	2 m				
d_trave 1	-3.08 m	SI	k1	0.5427	14.65	k1	0.1037	0.78	k1	-0.0427	0.00	15.43
d_trave 2	-1.03 m	SI	k2	0.3476	9.38	k2	0.2012	1.51	k2	0.1524	0.00	10.89
d_trave 3	1.03 m	SI	k3	0.1524	4.12	k3	0.2988	2.24	k3	0.3476	0.00	6.36
d_trave 4	3.08 m	SI	k4	-0.0427	-1.15	k4	0.3963	2.97	k4	0.5427	0.00	1.82

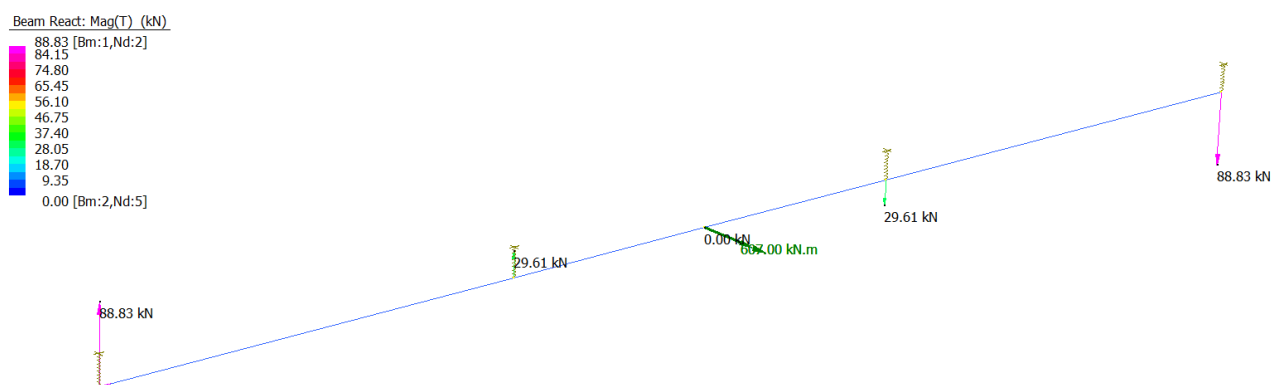
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Mentre per quanto riguarda l'azione verticale del vento, si determina prima la flessione trasversale alla quota testa pali che questo genera, e dopodichè si procede a determinare l'azione verticale a palo tramite modello di calcolo ipotizzando i pali come molle di rigidità  $k$  e la spalla come elemento infinitamente rigido:

$$M_{\text{vento}} = (1.21 \times 45.4 \times 4.51 / 2 \times 4.9) = 607 \text{ kNm}$$



-  $P_{\text{vento}} = \pm 89 \text{ kN}$

Per quanto riguarda l'azione sismica si è proceduto in due differenti modi per la direzione trasversale e longitudinale. In direzione longitudinale si sono estratti i risultati direttamente dal modello di calcolo secondo quanto descritto nel paragrafo di modellazione ed analisi sismica.

Mentre per quanto riguarda la direzione trasversale si è effettuato un calcolo manuale dettagliato di seguito. Si riporta l'accelerazione sismica orizzontale e verticale:

$$a_h(T=0) = 0.258g$$

$$a_v(T=0) = 0.087g$$

Le azioni sismiche in direzione trasversale sono generate dai pesi propri di impalcato e spalle e dai pesi portati, che su una spalla producono un carico verticale di:

$$P_{PP} = (38.93 + 14.12) \times 2 \times 45.40 / 2 = 2408 \text{ kN}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$$P_{Spalla} = 2.4 \times 8.90 \times 3.82 \times 25 = 2040 \text{ kN}$$

$$P_{tot \text{ su spalla}} = 2408 + 2040 = 4448 \text{ kN}$$

La forza sismica orizzontale trasversale diventa:

$$F_H = 4448 \times 0.258 = 1147 \text{ kN}$$

Ed il momento flettente a base spalla:

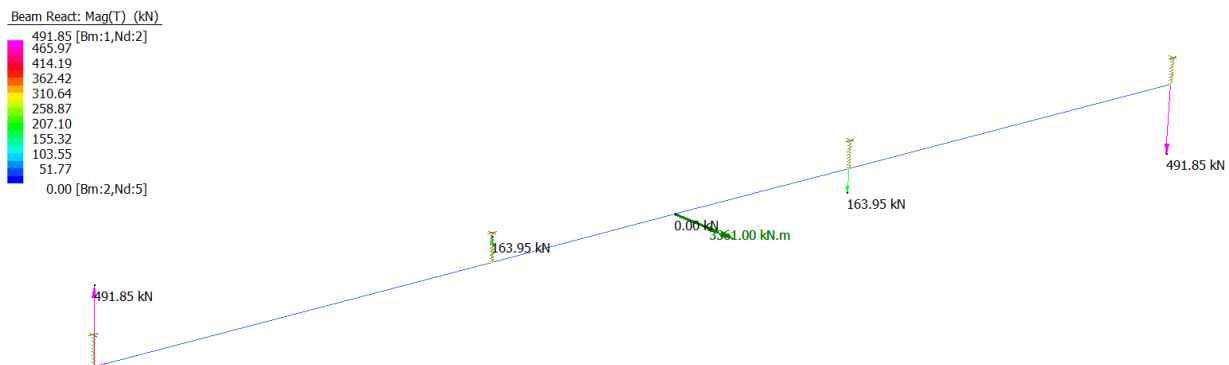
$$M = 2408 \times 0.258 \times 3.8 + 2040 \times 0.258 \times 3.80 / 2 = 3361 \text{ kNm}$$

Di conseguenza il carico verticale a palo, deriva sia da un contributo da sisma verticale (considerato secondario) e dal sisma trasversale (principale).

Il contributo da sisma verticale vale:

$$F_{sis,1} = (2408 + 2040) \times 0.087 / 4 = 97 \text{ kN}$$

Il contributo da sisma orizzontale vale:



$$F_{sis,2} = 492 \text{ kN}$$

Complessivamente si ottiene:

$$F = 97 \times 0.3 + 492 = \pm 521 \text{ kN}$$

Mentre il taglio risulta pari a:

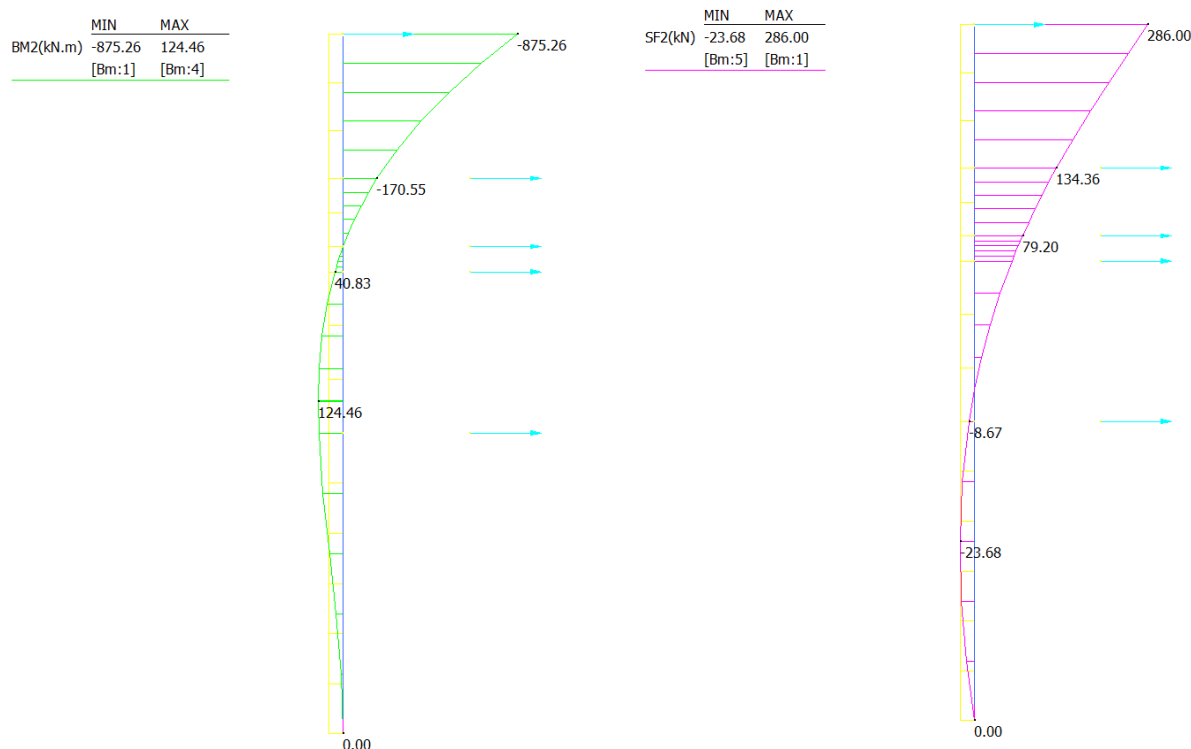
$$T = 1147 / 4 = 286 \text{ kN}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per conoscere l'andamento del taglio e del momento lungo la verticale del palo, a causa di questo taglio sismico in testa, è stato realizzato un modello di palo immerso nel terreno, il quale ha fornito i seguenti andamenti:



Si ottengono le seguenti sollecitazioni combinate:

		SOLLECITAZIONI						
		SLU	SLE rara	SLE Fr	SLE QP	SIS SLV Long.	SIS SLV Trasv.	
<b>N max comp.</b>	kN	2579	1904	1668	1119	1275	1640	
<b>N traz.</b>	kN	914	1013	1079	1119	963	598	
<b>T</b>	<b>testa palo</b>	kN	1161	851	666	248	572	610
	<b>z=5m da t.p.</b>	kN	430	313	250	113	152	201
	<b>z=13.1m da t.p.</b>	kN	315	232	211	162	173	175
<b>M</b>	<b>testa palo</b>	kNm	-3752	-2760	-2134	-764	-1028	-1607
	<b>z=3.4m da t.p.</b>	kNm	-1199	-824	-593	-178	24	39
	<b>z=5.6m da t.p.</b>	kNm	1226	860	647	566	739	684
	<b>z=9.4m da t.p.</b>	kNm	1094	793	711	516	614	665
	<b>profondità</b>	kNm	1740	1216	730	664	933	901

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3. Verifiche Strutturali

### 11.4.3.1. Verifiche a flessione SLU – Sez. testa palo

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Diametro	120	cm
Armatura corrente	60Ø26	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

**Verifica C.A. S.L.U. - File: PALO SOMMITA\_**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° Vertici**  **Zoom** **N° barre**  **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	260	0	1	5.31	148.5723	0.009827
2	259.6202	6.740167	2	5.31	251.5723	0.009827
3	258.4857	13.39501	3	5.31	150.2619	13.33859
4	256.6194	19.85557	4	5.31	152.4273	-19.7176
5	254.0419	26.06672	5	5.31	155.4068	25.75941
6	250.7856	31.95042	6	5.31	163.5911	-36.4254

**Sollecitazioni**  
S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**Materiali**  
B450C C25/30  
E<sub>su</sub> 67.5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² E<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200,000 N/mm² f<sub>cd</sub> 14.17 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
E<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9.75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6  
τ<sub>c1</sub> 1.829

**M<sub>xRd</sub>**  kN m  
σ<sub>c</sub> -14.17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 6.421 ‰  
d 111.5 cm  
x 39.34 x/d 0.3528  
δ 0.881

**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
L<sub>0</sub>  cm **Col. modello**  
 Precompresso

3752 < 4870 → Verifica soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3.2. Verifiche a flessione SLU – Sez. 3.4/5.6m da testa palo

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Diametro	120	cm
Armatura corrente	48Ø26	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

**Verifica C.A. S.L.U. - File: PALO 3.4-5.6**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° Vertici** 57 **Zoom** **N° barre** 48 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	260	0	1	5.31	148.5723	0.00982
2	259.6202	6.740167	2	5.31	251.5723	0.00982
3	258.4857	13.39501	3	5.31	150.2619	13.3385
4	256.6194	19.85557	4	5.31	155.4068	25.7594
5	254.0419	26.06672	5	5.31	163.5911	-36.4254
6	250.7856	31.95042	6	5.31	174.257	44.6097

**Tipologia Sezione:**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Tipologia Rottura:**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Metodo di calcolo:**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

**Materiali:**  
 B450C C25/30  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm²  $f_{cd}$  14.17 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6  
 $\tau_{c1}$  1.829

**Tipologia rottura:**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Parametri di calcolo:**  
 $M_{xRd}$  3,935 kN m  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  6.881 ‰  
 $d$  111.5 cm  
 $x$  37.6  $x/d$  0.3372  
 $\delta$  0.8615

**Parametri di verifica:**  
 $N^*$  rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 $L_0$  0 cm Col. modello  
 Precompresso

1226 < 3935 → Verifica soddisfatta.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3.3. Verifiche a flessione SLU – Sez. 9.4/13.2m da testa palo

Caratteristiche sezioni di verifica		
Diametro	120	cm
Armatura corrente	24Ø26	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

**Verifica C.A. S.L.U. - File: PALO Z=9.4-prof**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 60 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 24
- Diametro barre: 2.6 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

**N° barre:** 0 **Zoom**

**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 kNm

**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

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

**Materiali**

B450C		C25/30	
ε <sub>su</sub>	67.5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391.3 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub>	3.5 ‰
E <sub>s</sub>	200,000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub>	14.17
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>	9.75
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub>	0.6
		τ <sub>c1</sub>	1.829

**M<sub>xRd</sub>**: 2,226 kN m

σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 10.18 ‰  
d: 111.5 cm  
x: 28.53 x/d: 0.2559  
δ: 0.7599

1740 < 2226 → Verifica soddisfatta.





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3.6. Verifiche Limitazione tensione SLE Rara – Sez. 9.4/13.2m da testa palo

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 24  
 Diametro barre: 2.6 [cm]  
 Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0      1013 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0      1216 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0      0

**Materiali**

B450C      C25/30

ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰      ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>      ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200,000 N/mm<sup>2</sup>      f<sub>cd</sub>: 14.17  
 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>: 9.75  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup>      τ<sub>co</sub>: 0.6  
    τ<sub>c1</sub>: 1.829

**P.to applicazione N**

Centro      Baricentro cls  
 Coord. [cm]      xN: 0      yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+      S.L.U.-  
 Metodo n

**Verifica**

Vertici: 52  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

σ<sub>c</sub>: -9.917 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 215.8 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>s</sub>: 1.079 ‰  
 d: 111.5 cm  
 x: 45.5      x/d: 0.408  
                  δ: 0.95

Avendo  $\sigma_c = 9.92 \text{ MPa} < 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$  e  
 $\sigma_s = 216 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3.7. Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Sez. testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File: PALO SOMMITA\_
File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° Vertici**  **Zoom** **N° barre**  **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	260	0
2	259.6202	6.740167
3	258.4857	13.39501
4	256.6194	19.85557
5	254.0419	26.06672
6	250.7856	31.95042

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	5.31	148.5723	0.00982
2	5.31	251.5723	0.00982
3	5.31	150.2619	13.3385
4	5.31	152.4273	-19.7176
5	5.31	155.4068	25.7594
6	5.31	163.5911	-36.4254

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

File

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1079"/> kN
M <sub>xEd</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2134"/> kNm
M <sub>yEd</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm]    xN     yN

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C25/30</b>
ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> ‰	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub> <input type="text" value="391.3"/> N/mm²	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/>
E <sub>s</sub> <input type="text" value="200,000"/> N/mm²	f <sub>cd</sub> <input type="text" value="14.17"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input type="text" value="0.8"/> ?
ε <sub>syd</sub> <input type="text" value="1.957"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="9.75"/>
σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0.6"/>
	τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="1.829"/>

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x     x/d

δ

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

Caratteristiche dei materiali			
Coefficiente di omogeneizzazione	n =	15	
Classe cls	f <sub>ck</sub> =	25	N/mm²
Modulo elastico acciaio	E <sub>s</sub> =	2.1E+05	N/mm²

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

<b>Caratteristiche geometriche della sezione</b>			
Diametro	D =	120	cm
Area armatura esterna	A <sub>se</sub> =	191.16	cm <sup>2</sup>
Copriferro baricentro acciaio esterno	CS =	8.5	cm
Area armatura interna	A <sub>si</sub> =	127.44	cm <sup>2</sup>
Copriferro baricentro acciaio interno	c's =	13.7	cm
Ricoprimento barre più esterne	c =	7.2	cm
Ricoprimento barre più interne	c+S =	12.4	cm
Diametro massimo barre	Φ =	2.6	cm
<b>Sezione fessurata: apertura fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di fessurazione	M =	1079	kNm
Sforzo assiale in condizioni di fessurazione	N =	2134	kN
Rapporto sforzo normale/momento	r =	0.00504	
Distanza asse neutro da lembo compresso	X <sub>p</sub> =	50.45	cm
Tensione cls	σ <sub>c</sub> =	-11.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione barra esterna tesa	σ <sub>s</sub> =	200.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nell'acciaio prodotta da Msr	σ <sub>sr</sub> =	50.68	N/mm <sup>2</sup>
<b>Distanza media fra due fessure attigue</b>			
Distanza media barre	s =	6.7	cm
Coefficiente k <sub>2</sub>	k <sub>2</sub> =	0.4	
Tensioni nel calcestruzzo teso	σ <sub>1</sub> =	10.12	N/mm <sup>2</sup>
Tensioni nel calcestruzzo compresso	σ <sub>2</sub> =	-8.56	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente k <sub>3</sub>	k <sub>3</sub> =	0.125	
Larghezza efficace	b <sub>eff</sub> =	6.7	cm
Altezza efficace	d <sub>eff</sub> =	31.9	cm
Area efficace	A <sub>ceff</sub> =	213.7	cm <sup>2</sup>
Area armature poste in A <sub>ceff</sub>	A <sub>s</sub> =	5.31	cm <sup>2</sup>
Distanza media fra due fessure attigue	s <sub>rm</sub> =	20.97	cm
<b>Deformazione unitaria media</b>			
Coefficiente β <sub>1</sub>	β <sub>1</sub> =	1.0	
Coefficiente β <sub>2</sub>	β <sub>2</sub> =	0.5	
Deformazione unitaria media	ε <sub>sm</sub> =	9.22E-04	
<b>Ampiezza fessura</b>	W <sub>k</sub> =	0.329	mm
	W <sub>k</sub> < W <sub>amm</sub>	<b>Verificato</b>	

La fessura ha un'apertura di 0.329mm < w<sub>3</sub>=0.4mm.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3.8. Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Sez. 3.4/5.6m da testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File: PALO 3.4-5.6

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	260	0	1	5.31	148.5723	0.009827
2	259.6202	6.740167	2	5.31	251.5723	0.009827
3	258.4857	13.39501	3	5.31	150.2619	13.33859
4	256.6194	19.85557	4	5.31	155.4068	25.75941
5	254.0419	26.06672	5	5.31	163.5911	-36.4254
6	250.7856	31.95042	6	5.31	174.257	44.60971

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1079"/> kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="647"/> kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm]    xN     yN

**Materiali**

B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ <input type="text" value="67.5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$ <input type="text" value="2"/> ‰
$f_{yd}$ <input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input type="text" value="3.5"/>
$E_s$ <input type="text" value="200,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <input type="text" value="14.17"/>
$E_s/E_c$ <input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$ <input type="text" value="0.8"/> ?
$\epsilon_{syd}$ <input type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="9.75"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input type="text" value="0.6"/>
	$\tau_{c1}$ <input type="text" value="1.829"/>

$\sigma_c$	<input type="text" value="-4.038"/> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	<input type="text" value="47.64"/> N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon_s$	<input type="text" value="0.2382"/> ‰
d	<input type="text" value="111.5"/> cm
x	<input type="text" value="62.42"/> x/d <input type="text" value="0.5598"/>
$\delta$	<input type="text" value="1"/>

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+     S.L.U.-

Metodo n

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

Vista la tensione sull'armatura assolutamente limitata si ritiene la verifica automaticamente soddisfatta.





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3.10. Verifiche Limitazione tensione e Fessurazione SLE Quasi permanente – Sez. testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File: PALO SOMMITA\_
File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**TITOLO :** \_\_\_\_\_

**N° Vertici**  **Zoom** **N° barre**  **Zoom**

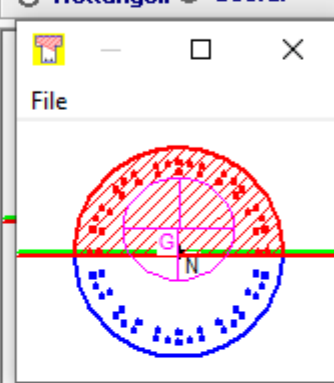
N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	260	0	1	5.31	148.5723	0.009827
2	259.6202	6.740167	2	5.31	251.5723	0.009827
3	258.4857	13.39501	3	5.31	150.2619	13.33859
4	256.6194	19.85557	4	5.31	152.4273	-19.7176
5	254.0419	26.06672	5	5.31	155.4068	25.75941
6	250.7856	31.95042	6	5.31	163.5911	-36.4254

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.



**Sollecitazioni**

S.L.U. ↔ Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1119"/> kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="764"/> kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm]    xN     yN

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Materiali**

**B450C**

$\epsilon_{su}$   ‰

$f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>

$E_s$   N/mm<sup>2</sup>

$E_s/E_c$

$\epsilon_{syd}$   ‰

$\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>

**C25/30**

$\epsilon_{c2}$   ‰

$\epsilon_{cu}$

$f_{cd}$

$f_{cc}/f_{cd}$   ?

$\sigma_{c,adm}$

$\tau_{co}$

$\tau_{c1}$

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x     x/d

$\delta$

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

Vista le tensioni su calcestruzzo e armatura assolutamente limitate si ritiene la verifica sia tensionale che di fessurazione automaticamente soddisfatta.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**11.4.3.11. Verifiche a taglio SLU – Sez. testa palo**

Il palo è armato con staffe  $\phi 12/7.5$ :

$V_{sdu}$	1161	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\Phi$	120	cm
$bw$	108.00	cm
$d$	108.00	cm
$he$	84.72	cm
$de$	76.22	cm
$A_{sl}$	318.6	cm <sup>2</sup>
$c$	8.50	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	23.12	gradi
$ctg\theta$	2.34	
$A_{sw}$	2.26	cm <sup>2</sup>
passo staffe	7.5	cm
$f_{cd}$	14.167	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	544.316	kN
$V_{Rd,min}$	267.895	kN
$\rho_{sw,min}$	0.000889	
$s_{l,max}$	57.17	cm
$A_{sw,min}$	5.488	cm <sup>2</sup> / $s_{l,max}$
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	1894.845	kN
$V_{Rsd}$	1894.845	kN
$V_{Rd}$	1894.845	kN

La verifica è soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 11.4.3.12. Verifiche a taglio SLU – Sez. 5m da t.p.

Il palo è armato con staffe  $\phi 12/15$ :

$V_{sdu}$	430	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{c=}$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\Phi$	120	cm
$bw$	108.00	cm
$d$	108.00	cm
$h_e$	84.72	cm
$h_d$	76.22	cm
$A_{sl}$	318.6	cm <sup>2</sup>
$c$	8.50	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$A_{sw}$	2.26	cm <sup>2</sup>
passo staffe	15	cm
$f_{cd}$	14.167	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	544.316	kN
$V_{Rd,min}$	267.895	kN
$\rho_{sw,min}$	0.000889	
$s_{l,max}$	57.17	cm
$A_{sw,min}$	5.488	cm <sup>2</sup> / $s_{l,max}$
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	1809.474	kN
$V_{Rsd}$	1011.147	kN
$V_{Rd}$	1011.147	kN

La verifica è soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 11.4.4. Verifiche Geotecniche

### 11.4.4.1. Portanza verticale

Si riporta di seguito la verifica di portanza verticale della palificata. Si specifica che la massima azione assiale SLU in combo A1+M1+R3 sui pali risulta pari a **2579 kN**.

Il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione viene svolto adottando, in termini generali, i seguenti criteri, attualizzati al metodo agli Stati Limite:

Si pone:

$$Q_{u,b} = A_{base} \cdot q_{u,b} \quad \text{portata limite alla base}$$

$$Q_{u,s} = \text{Perimetro} \cdot \int_{z_t}^{z_b} q_{u,s} \cdot dz \quad \text{portata limite per attrito laterale}$$

dove:

D = diametro del palo

$q_{u,b}$  = pressione limite alla base del palo

$q_{u,s}$  = tensione tangenziale limite lungo il fusto del palo

$z_b$  = profondità della base del palo da testa palo

$z_t$  = profondità della testa del palo da testa palo

Per quanto riguarda i pali, ovviamente si pone:

$$A_{base} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad ;$$

$$\text{Perimetro} = \pi \cdot D$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Nel seguito vengono presentate le trattazioni che permettono di valutare il valore di  $q_{u,b}$  e di  $q_{u,s}$ , in funzione del tipo di terreno considerato.

## Pressione limite alla base:

Per *materiali granulari* vale:

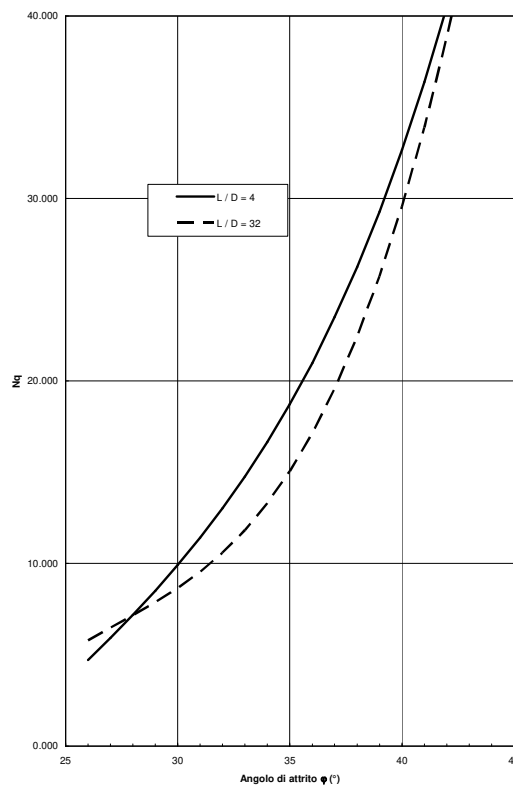
$$(q_{u,b})_{\frac{s}{D}=0.1} = N_q \cdot \sigma'_{v0} \leq (q_{u,b})_{\max}$$

Dove:

$\sigma'_{v0}$  = sforzo litostatico efficace alla base del palo

$(q_{u,b})_{\max} = 4.0 \text{ MPa}$

$N_q$  in accordo alla figura seguente:



Per materiali coesivi vale la pressione ultima di base è fornita dalla seguente espressione:

$$q_{u,b} = 9 \cdot c_{u,b}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

dove  $c_{u,b}$  rappresenta il parametro di resistenza al taglio del terreno in condizioni non drenate alla base del palo.

## Tensione tangenziale limite lungo il fusto del palo:

Per materiali granulari vale:

$$t_{us} = K \cdot \sigma'_{v0} \cdot \tan \phi'$$

dove:

K = coefficiente empirico che viene assunto pari a 0.7

$\phi'_i$  = angolo di attrito del terreno

$$(\tau_{u,s})_{\max} = 3.0 \cdot N_{SPT} \quad \text{per } N_{SPT} \leq 53$$

Reese e Wright [1977]

$$(\tau_{u,s})_{\max} = 142 + 0.32 \cdot N_{SPT} \quad \text{per } N_{SPT} > 53$$

Reese e Wright [1977]

Per materiali coesivi vale:

$$\tau_{u,s} = \alpha \cdot c_u$$

dove:

$\alpha$  = coefficiente empirico valutato secondo AGI

$c_u$  = parametro di resistenza al taglio del terreno in condizioni non drenate

Per la definizione del fattore di riduzione  $\alpha$  si considerano le formulazioni indicate dall'AGI [1984] sotto riportate:

0.9 per  $c_u \leq 25$  kPa;

0.8 per  $25 < c_u \leq 50$  kPa;

0.6 per  $50 < c_u \leq 75$  kPa;

0.4 per  $c_u > 75$  kPa.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

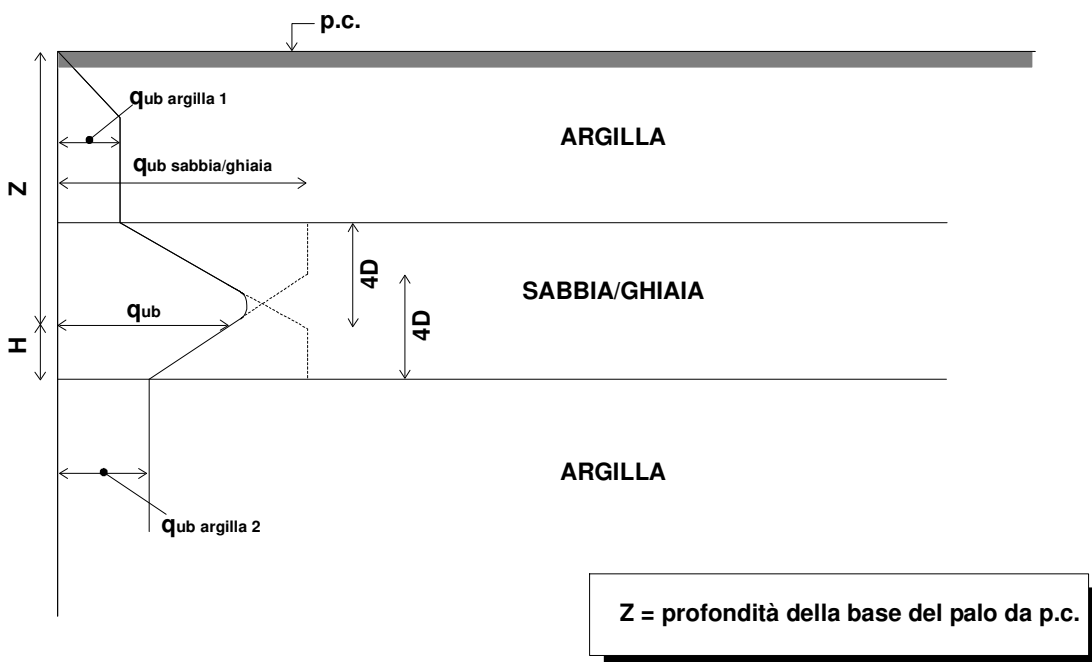
Documento

Relazione di calcolo strutturale

La tensione tangenziale ultima deve rispettare le seguenti limitazioni:

$$\tau_{u,s} \leq 100kPa \quad \text{AGI [dicembre 1984]}$$

Nel caso di terreni stratificati, costituiti da alternanze di strati di limi e argille sature e di sabbie e ghiaie, i criteri di valutazione delle portate laterali limite rimangono analoghi a quelli descritti in precedenza; la portata di base negli strati sabbioso-ghiaiosi viene invece abbattuta rispetto a quella caratteristica dello strato supposto omogeneo in accordo allo schema riportato in figura seguente:



Criterio di valutazione della pressione ultima di base ( $q_{u,b}$ )  
in terreni stratificati (modificata da Meyerhof, 1976)

Alla luce dell'approccio agli Stati limite, in accordo con la Normativa Italiana, la capacità portate del palo, in linea generale, sarà calcolata e verificata per la seguente combinazione:

A1+M1+R3

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le resistenze ultime di calcolo  $R_{c,cal}$  sono da intendersi come quantificate in ragione dei risultati ottenuti per ogni verticale.

Le resistenze caratteristiche  $R_{c,k}$  saranno quindi desunte da questi valori, tramite la correlazione:

$$R_{c,k} = \min \left( (R_{c,cal})_{media} / \xi_3 ; ((R_{c,cal})_{min} / \xi_4) \right)$$

in cui

$(R_{c,cal})_{media}$  = resistenza media di progetto;

$(R_{c,cal})_{min}$  = resistenza minima di progetto;

$\xi_3$  e  $\xi_4$  vengono desunti dalla tabella 6.4.IV di NTC2018, di seguito riportata, considerando 2 verticali indagate;

*Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate*

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tabella 11-1: fattori di correlazione (Tabella 6.4.IV di NTC2018)

Infine la resistenza di progetto, è pari a:

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_R$$

Pertanto, la portata di progetto sarà data dalle seguenti espressioni:

$$R_{c,d} = \frac{(R_{c,k})^{base}}{(\gamma_R^{base})} + \frac{(R_{c,k})^{laterale}}{(\gamma_R^{laterale})} - \gamma_G W' \quad \text{a compressione}$$

$$R_{T,d} = \frac{(R_{c,k})^{laterale}}{(\gamma_R^{laterale, trazione})} \quad \text{trazione}$$

in cui  $W'$  = peso del palo sommerso al netto del peso del terreno asportato



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## Portata della palificata

La capacità portante di un gruppo di pali non è uguale alla somma delle capacità portanti dei pali considerati isolati, si può quindi valutare la riduzione di portanza attraverso un coefficiente di efficienza  $\varepsilon$  del gruppo di pali. Il coefficiente di efficienza  $\varepsilon$  è il rapporto tra la portanza della palificata e la somma delle portanze dei singoli pali:

$$P_{p\text{ult}} = \varepsilon n P_{\text{ult}}$$

La valutazione dell'efficienza della palificata viene eseguita avvalendosi della formula di Converse e Labarre, formula valida per i pali che interagiscono tra di loro, ma che raggiungono comunque crisi isolata:

$$\varepsilon = 1 - \operatorname{arctg} \frac{D}{i} \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 m \cdot n} \right]$$

Dove per i pali  $\phi$  1200 mm vale:

D = diametro dei pali = 1.20 m

i = interasse dei pali = 2.28 m

m = file di pali = 1

n = pali per ciascuna fila = 5

Nel caso in parola viene moltiplicata la portata laterale del palo  $\phi$  1200 mm secondo il coefficiente di efficienza pari a:

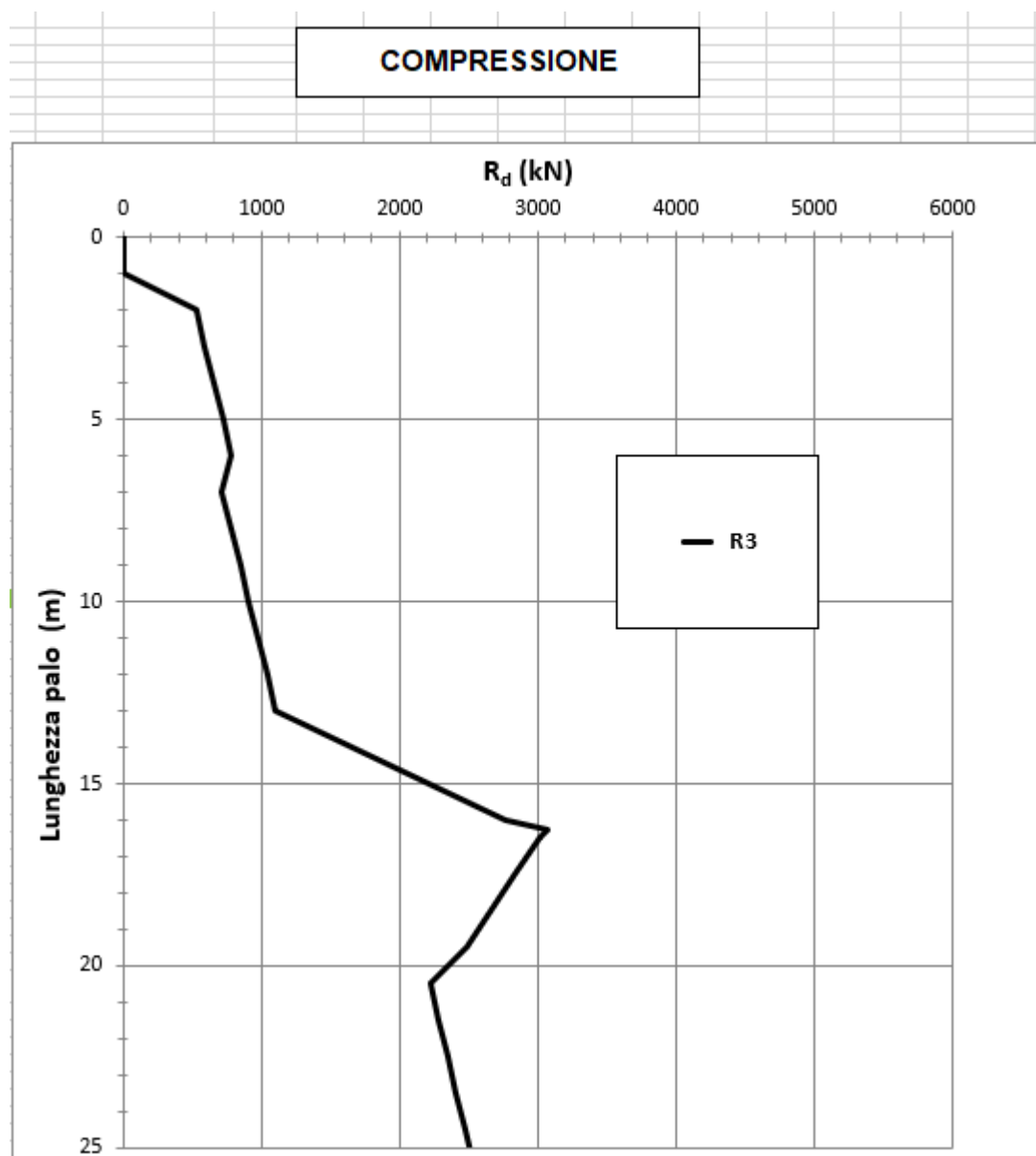
$$\varepsilon = 0.75$$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

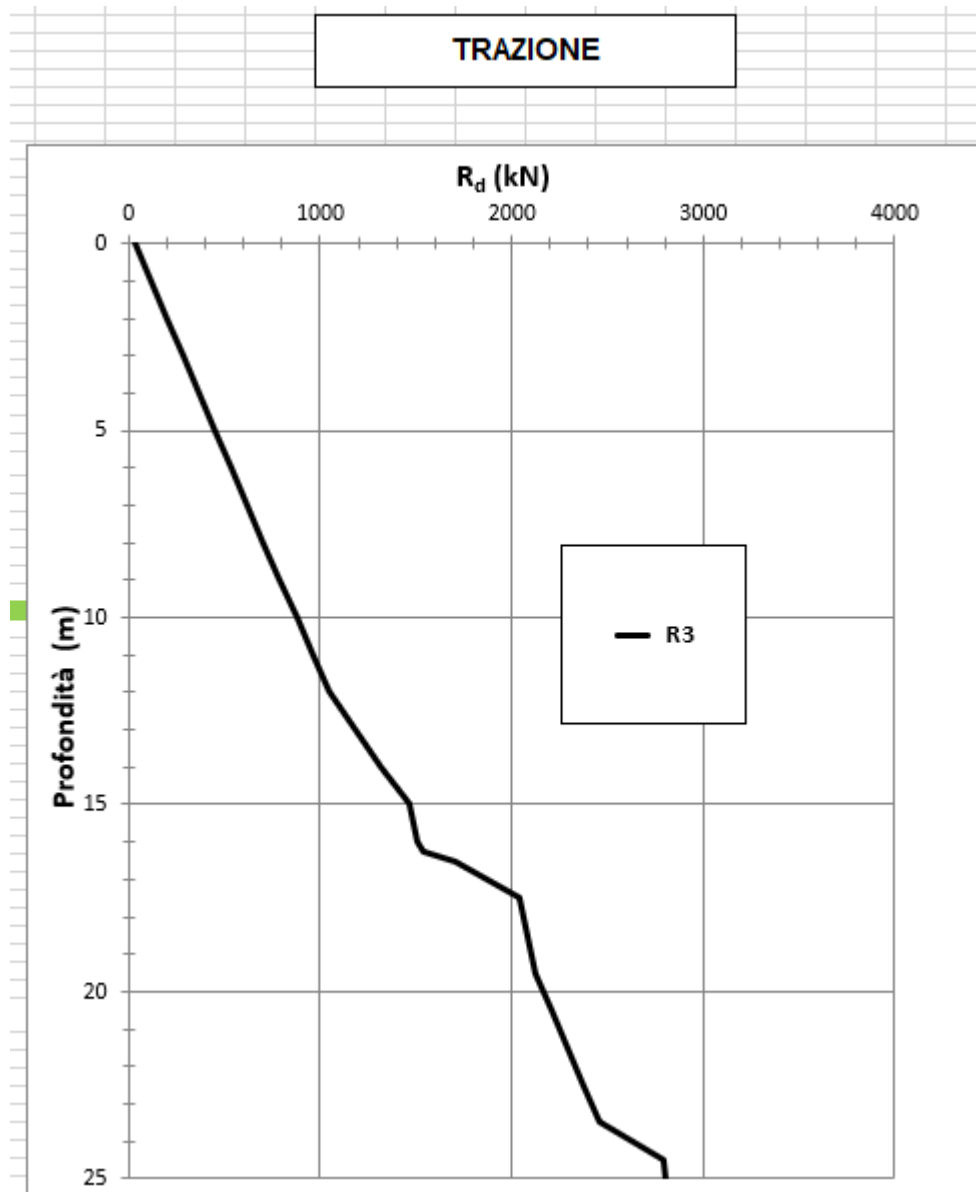


Essendo la massima compressione pari a 2579 kN e che la resistenza con palo lungo 16.5m è pari a 3018 kN la verifica risulta soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

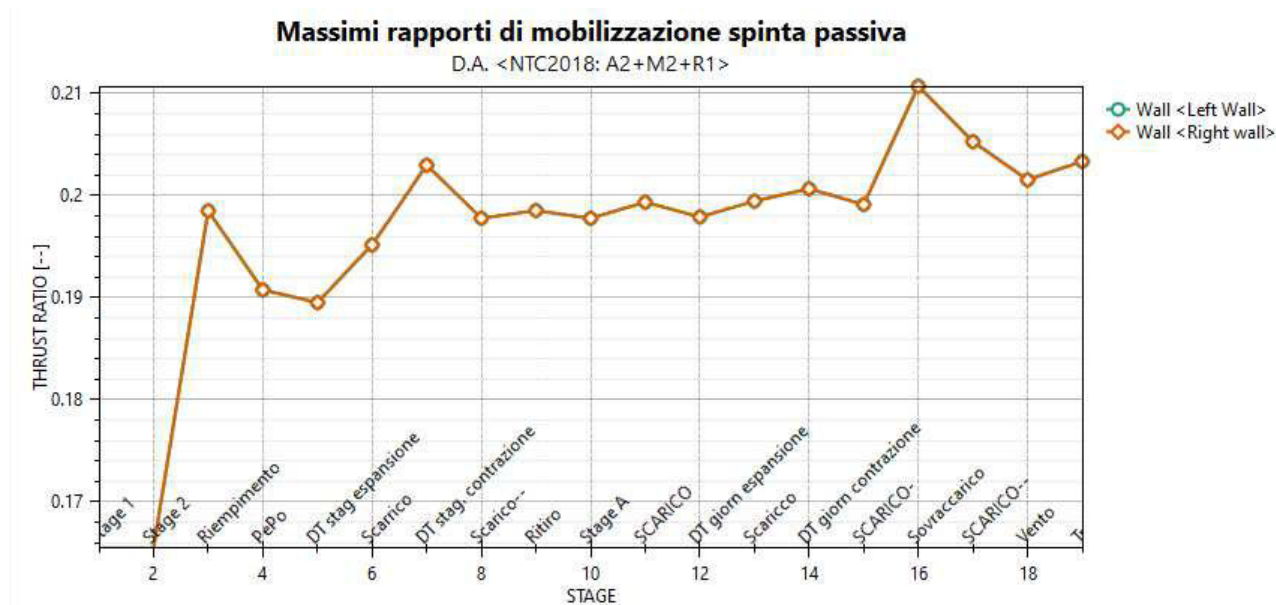
## 11.4.4.2. Mobilitazione spinta passiva di valle

Si verifica di seguito la spalla, intesa come paratia avente una fila di pali a passo  $2\Phi$ , nei confronti del meccanismo di collasso geotecnico indotto dal raggiungimento della resistenza del terreno contro cui spinge la paratia.

Come da NTC18 al prg. 6.5.3.1.2, la suddetta verifica deve essere eseguita utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 2 ovvero coefficienti  $A2+M2+R1$ .

Questa verifica viene condotta automaticamente dal software ParatiePlus, il quale impostando correttamente le combinazioni definite in NTC, permette di visualizzare il rapporto di mobilitazione della resistenza passiva del terreno rispetto le spinte realmente agenti.

Si riporta a tal proposito un grafico che mostra l'andamento della mobilitazione delle resistenze del terreno, rispetto la spinta passiva, nelle varie fasi di realizzazione/caricamento dell'opera. In questo diagrammi vengono contemplati esclusivamente i carichi permanenti e variabili statici.



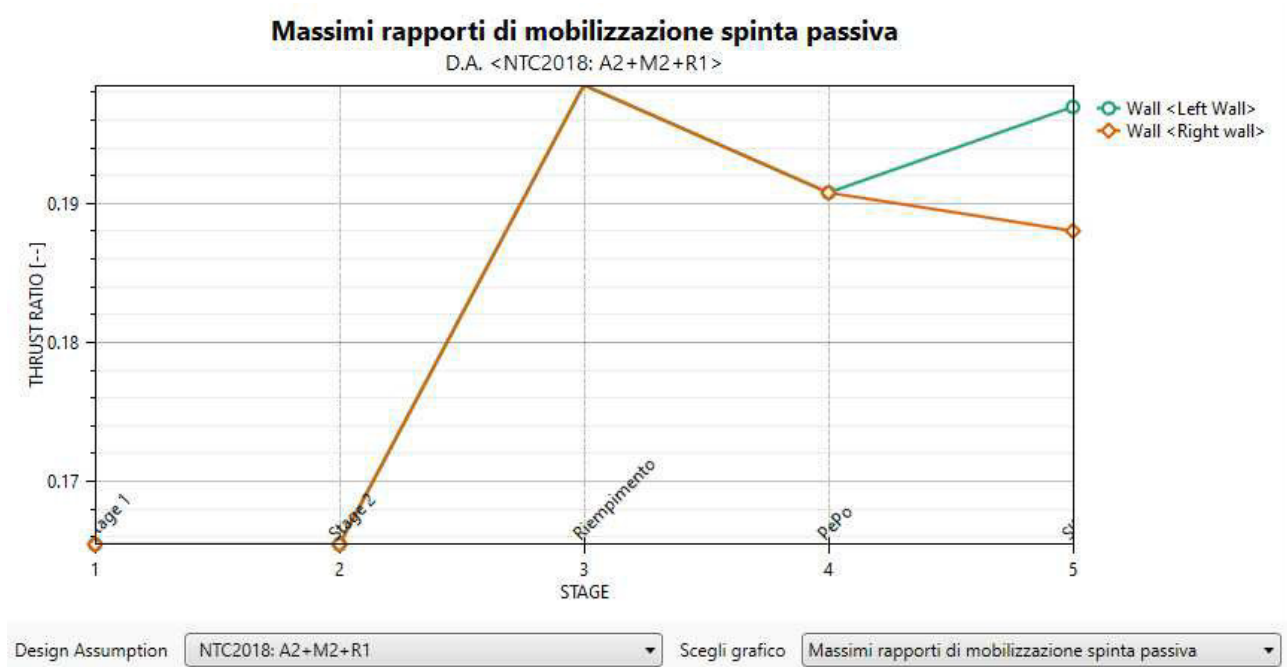
Come visibile dal diagramma si raggiunge al massimo un rapporto pari a 0.21, ovvero abbondantemente inferiore al valore R1 che è unitario.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per quanto riguarda la combinazione sismica, si ottiene il seguente grafico di mobilitazione della resistenza passiva:



Anche in questo lo sfruttamento è abbondantemente inferiore all'unità e quindi verificato.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12. VERIFICA PASSERELLA PEDONALE

### 12.1. TRAVI DI IMPALCATO

#### 12.1.1. Proprietà geometrico-statiche delle travi longitudinali

L'impalcato risulta suddiviso in 3 tipologie di conci ad altezza variabile, essendo l'impalcato simmetrico, che si differenziano per i differenti spessori delle lamiere componenti la sezione, selezionate in funzione del relativo impegno statico.

La tabella seguente restituisce la lunghezza dei vari conci, unitamente all'ubicazione lungo la campata.

Scansione conci:

$L_{tot\ trave}$	44.60 m	
Concio A	9.30 m	Concio di spalla
Concio B	8.00 m	Concio intermedio
Concio C	10.00 m	Concio di mezzeria

Le caratteristiche della prossima tabella sono relative ad una singola trave e sue afferenze:

	Concio Tipo 1	Concio Tipo 2	Concio Tipo 3
<b><i>Piattabanda superiore</i></b>	400x15	400x20	400x25
<b><i>h anima</i></b>	950	950	950
<b><i>Spessore anima</i></b>	12	10	10
<b><i>Piattabanda inferiore</i></b>	350x25	350x35	350x40

Le proprietà geometrico-statiche delle sezioni di impalcato vengono valutate dal programma di verifica PontiEC4. Tutti i dati indicati sono espressi in mm e sono riferiti alla trave metallica singola, con relativa porzione di soletta collaborante.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per i dati relativi a ciascuna riga, si rimanda alla legenda e alla figura sottostante:

	Legenda	
A	Area sezione	
$z_G$	Distanza baricentro da intradosso	
$J_y$	Inerzia verticale	
$J_z$	Inerzia orizzontale	
$W_{y,0}$	Modulo resistenza lembo inf. piatt. inferiore	
$W_{y,1}$	Modulo resistenza lembo sup.. piatt. inferiore	
$W_{y,3}$	Modulo resistenza lembo inf. piatt. superiore	
$W_{y,4}$	Modulo resistenza lembo sup. piatt. superiore	
$W_{y,5}$	Modulo resistenza lembo inferiore soletta in c.a.	
$W_{y,6}$	Modulo resistenza layer inferiore armatura	
$W_{y,7}$	Modulo resistenza layer superiore armatura	
$W_{y,8}$	Modulo resistenza lembo superiore soletta in c.a.	
$S_{y,1}$	Momento statico attacco anima/piatt. inferiore	
$S_{y,2}$	Momento statico rispetto baricentro	
$S_{y,3}$	Momento statico attacco anima/piatt. superiore	
$S_{y,4}$	Momento statico interfaccia trave/soletta	
e	Eccentricità tra baricentro globale e linea d'azione N	

Per quanto riguarda l'armatura longitudinale in soletta si è considerato, rispetto le sezioni di calcolo definite nel seguito:

	Sez. 1	Sez. 2a	Sez. 2b	Sez. 3a	Sez. 3b	Sez. 4
Layer sup. arm.	$\phi 20/10$	$\phi 10/20$	$\phi 10/20$	$\phi 10/20$	$\phi 10/20$	$\phi 10/20$
Layer inf. arm.	0	0	0	0	0	0

I pioli, diametro 22mm h=200mm, risultano:

- Concio Tipo 1: 3 pioli/200mm
- Concio Tipo 2: 2 pioli/200mm
- Concio Tipo 3: 2 pioli/200mm



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Nel calcolo delle caratteristiche geometriche-inerziali delle sezioni di travi, è stato tenuto in conto del contributo resistente offerto dalle predalles. Tali elementi sono saldati alle travi e tra di loro, di conseguenza non entrano in carico per azioni dei soli pesi propri. Esse darebbero un contributo resistente una volta che il calcestruzzo avrà fatto presa, esattamente come se fossero armature lente presenti in soletta.

Di seguito si riportano le caratteristiche delle sezioni per ogni fase di calcolo.

- Fase 1    Peso proprio
- Fase 2a    Permanenti
- Fase 2b    Ritiro
- Fase 2c    Coazioni e/o presollecitazioni
- Fase 3a    Variazione termica + Traffico
- Cracked    Condizione di fessurazione della soletta

- **Concio 1**

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Cracked
A	2.606E+4	3.966E+4	3.966E+4	3.966E+4	5.863E+4	3.018E+4
zG	429.51	630.38	630.38	630.38	754.8	509.53
DeltazG	--	--	--	--	--	--
Jy	3.91E+9	6.988E+9	6.988E+9	6.988E+9	8.913E+9	5.131E+9
Wy,0	-9.104E+6	-1.109E+7	-1.109E+7	-1.109E+7	-1.181E+7	-1.007E+7
Wy,1	-9.666E+6	-1.154E+7	-1.154E+7	-1.154E+7	-1.221E+7	-1.059E+7
Wy,3	7.735E+6	2.294E+7	2.294E+7	2.294E+7	4.946E+7	1.206E+7
Wy,4	7.512E+6	2.186E+7	2.186E+7	2.186E+7	4.566E+7	1.165E+7
Wy,5	---	2.186E+7	2.186E+7	2.186E+7	4.566E+7	1.165E+7
Wy,6	---	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
Wy,7	---	1.817E+7	1.817E+7	1.817E+7	3.425E+7	1.015E+7
Wy,8	---	1.554E+7	1.554E+7	1.554E+7	2.741E+7	8.994E+6
Sy,1	3.649E+6	5.406E+6	5.406E+6	5.406E+6	6.495E+6	4.349E+6
Sy,2	4.665E+6	7.683E+6	7.683E+6	7.683E+6	9.803E+6	5.807E+6
Sy,3	3.078E+6	7.107E+6	7.107E+6	7.107E+6	9.602E+6	4.683E+6
Sy,4	9.313E-10	5.234E+6	5.234E+6	5.234E+6	8.476E+6	2.085E+6
nE	1E+300	1.8E+1	1.8E+1	1.8E+1	6E+0	1E+300

Caratt. Lorde  
 Caratt. Efficaci

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

• **Concio 2**

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Cracked
<b>A</b>	2.952E+4	3.951E+4	3.951E+4	3.951E+4	5.848E+4	3.003E+4
zG	413.51	565.71	565.71	565.71	711.42	423.84
DeltazG	--	--	--	--	--	--
Jy	4.803E+9	7.518E+9	7.518E+9	7.518E+9	1.013E+10	4.986E+9
Wy,0	-1.161E+7	-1.329E+7	-1.329E+7	-1.329E+7	-1.424E+7	-1.176E+7
Wy,1	-1.269E+7	-1.417E+7	-1.417E+7	-1.417E+7	-1.498E+7	-1.282E+7
Wy,3	9.299E+6	2.064E+7	2.064E+7	2.064E+7	4.635E+7	9.851E+6
Wy,4	8.952E+6	1.956E+7	1.956E+7	1.956E+7	4.247E+7	9.476E+6
Wy,5	---	1.956E+7	1.956E+7	1.956E+7	4.247E+7	9.476E+6
Wy,6	---	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
Wy,7	---	1.673E+7	1.673E+7	1.673E+7	3.337E+7	8.434E+6
Wy,8	---	1.462E+7	1.462E+7	1.462E+7	2.749E+7	7.599E+6
Sy,1	4.851E+6	6.716E+6	6.716E+6	6.716E+6	8.5E+6	4.978E+6
Sy,2	5.593E+6	8.173E+6	8.173E+6	8.173E+6	1.087E+7	5.76E+6
Sy,3	4.212E+6	7.487E+6	7.487E+6	7.487E+6	1.062E+7	4.434E+6
Sy,4	-1.863E-9	4.492E+6	4.492E+6	4.492E+6	8.793E+6	3.048E+5
nE	1E+300	1.8E+1	1.8E+1	1.8E+1	6E+0	1E+300

Caratt. Lorde  
 Caratt. Efficaci

• **Concio 3**

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Cracked
<b>A</b>	3.316E+4	4.316E+4	4.316E+4	4.316E+4	6.213E+4	3.368E+4
zG	424.45	561.26	561.26	561.26	699.77	433.49
DeltazG	--	--	--	--	--	--
Jy	5.554E+9	8.246E+9	8.246E+9	8.246E+9	1.099E+10	5.731E+9
Wy,0	-1.308E+7	-1.469E+7	-1.469E+7	-1.469E+7	-1.57E+7	-1.322E+7
Wy,1	-1.445E+7	-1.582E+7	-1.582E+7	-1.582E+7	-1.665E+7	-1.456E+7
Wy,3	1.11E+7	2.267E+7	2.267E+7	2.267E+7	4.878E+7	1.166E+7
Wy,4	1.057E+7	2.121E+7	2.121E+7	2.121E+7	4.39E+7	1.11E+7
Wy,5	---	2.121E+7	2.121E+7	2.121E+7	4.39E+7	1.11E+7
Wy,6	---	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
Wy,7	---	1.817E+7	1.817E+7	1.817E+7	3.485E+7	9.855E+6
Wy,8	---	1.59E+7	1.59E+7	1.59E+7	2.889E+7	8.864E+6
Sy,1	5.662E+6	7.578E+6	7.578E+6	7.578E+6	9.517E+6	5.789E+6
Sy,2	6.427E+6	8.984E+6	8.984E+6	8.984E+6	1.177E+7	6.59E+6
Sy,3	5.13E+6	8.299E+6	8.299E+6	8.299E+6	1.151E+7	5.34E+6
Sy,4	-9.313E-10	4.537E+6	4.537E+6	4.537E+6	9.13E+6	2.998E+5
nE	1E+300	1.8E+1	1.8E+1	1.8E+1	6E+0	1E+300

Caratt. Lorde  
 Caratt. Efficaci

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 12.1.2. Sollecitazioni di calcolo

Si riportano di seguito le sollecitazioni agenti nell'impalcato. Come detto le sollecitazioni sono state estratte in parte dal modello di calcolo in ParatiePlus ed in parte dal modello di calcolo in Straus7. Dal modello in Straus7 è stato preso il diagramma di sollecitazione relativamente a:

- Pesi strutturali (in condizione di semplice appoggio)
- Ritiro iperstatico
- Variazione termica giornaliera iperstatica
- Traffico (schema di carico 1)
- Fatica (schema FLM3)

Si specifica che per i carichi agenti sullo schema iperstatico inseriti nel modello Straus, stata inserita una molla rotazionale rappresentante il grado di vincolo offerto da spalla, pali e terreno a tergo all'impalcato. Si riporta nel seguito il calcolo di questa rigidità sia nel caso di carichi a lungo termine ( $n=18$ ), che a breve termine ( $n=6$ ).  
I restanti carichi agenti sono stati estratti dal modello in Paratie.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

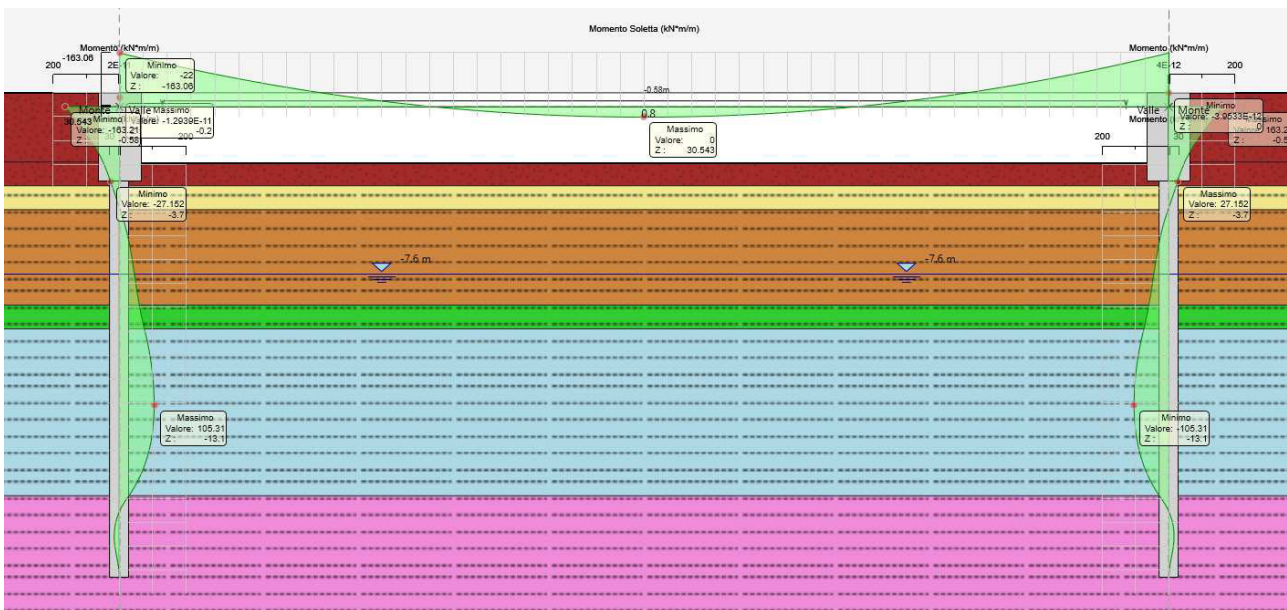
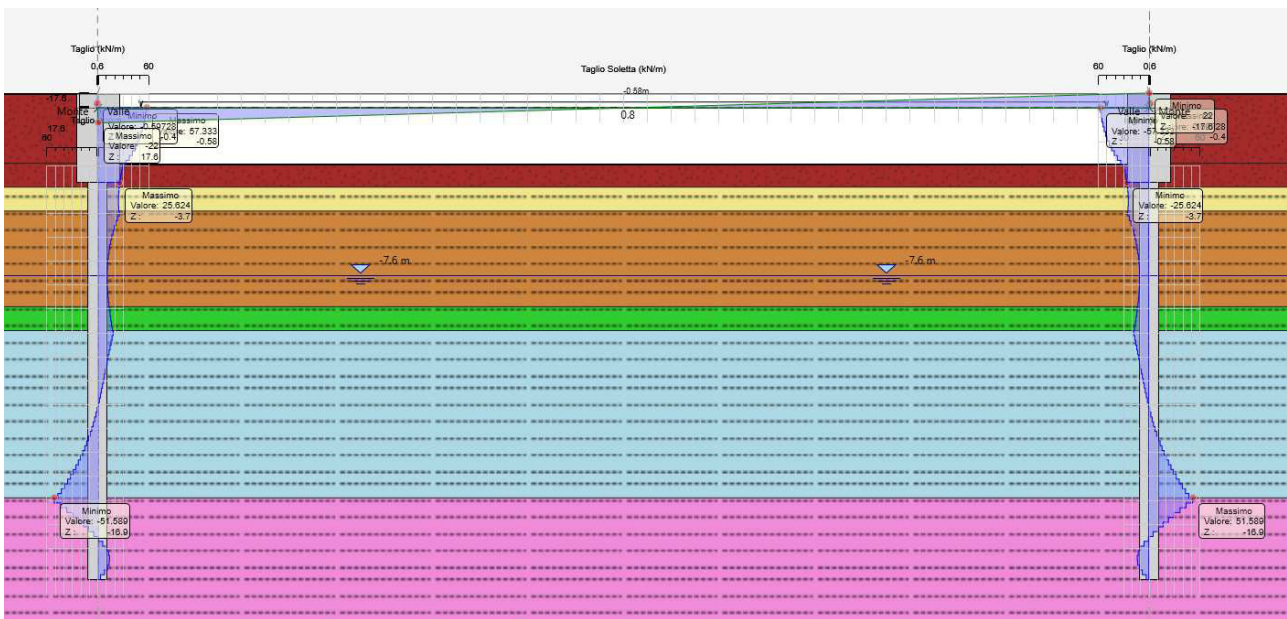
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.3. Modello ParatiePlus

Si riportano di seguito i diagrammi di taglio e momento in impalcato e sottostrutture nelle varie fasi analizzate:

- Riempimento a tergo e applicazione carichi permanenti portati:



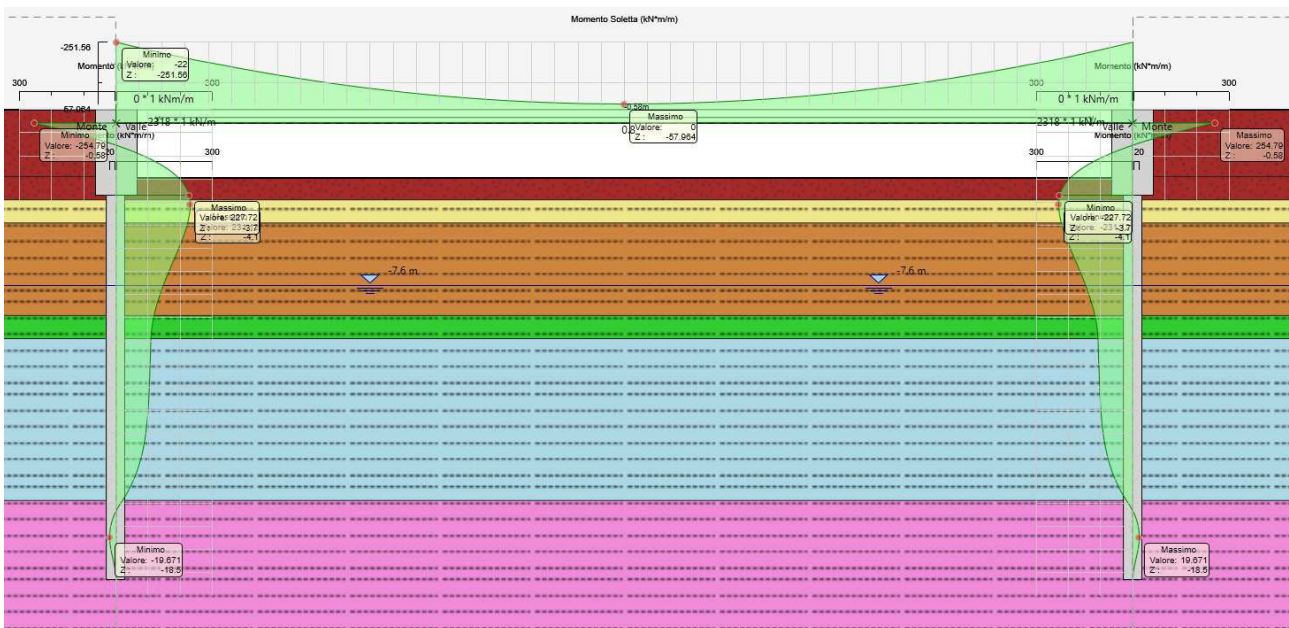
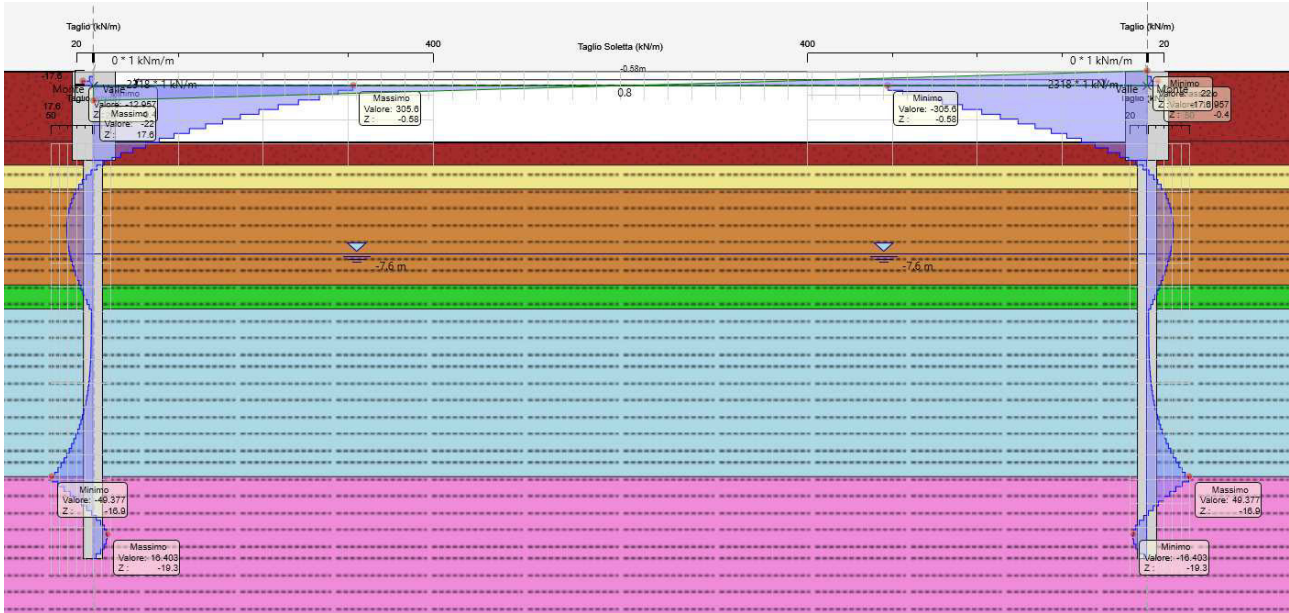


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica uniforme stagionale di espansione:

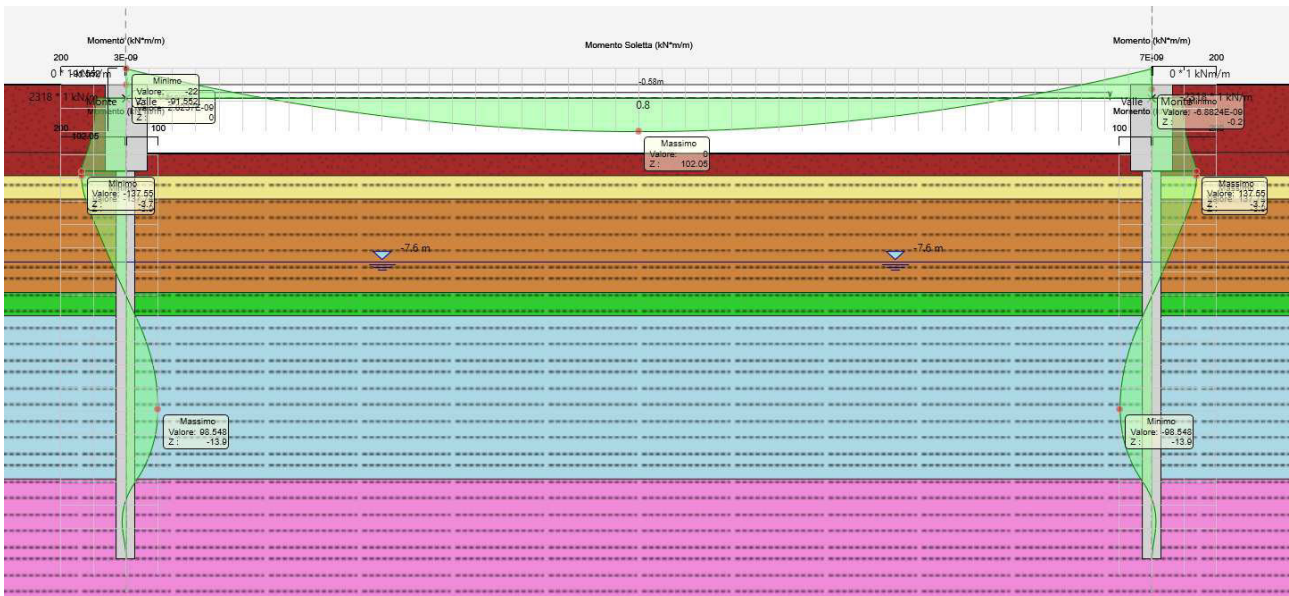
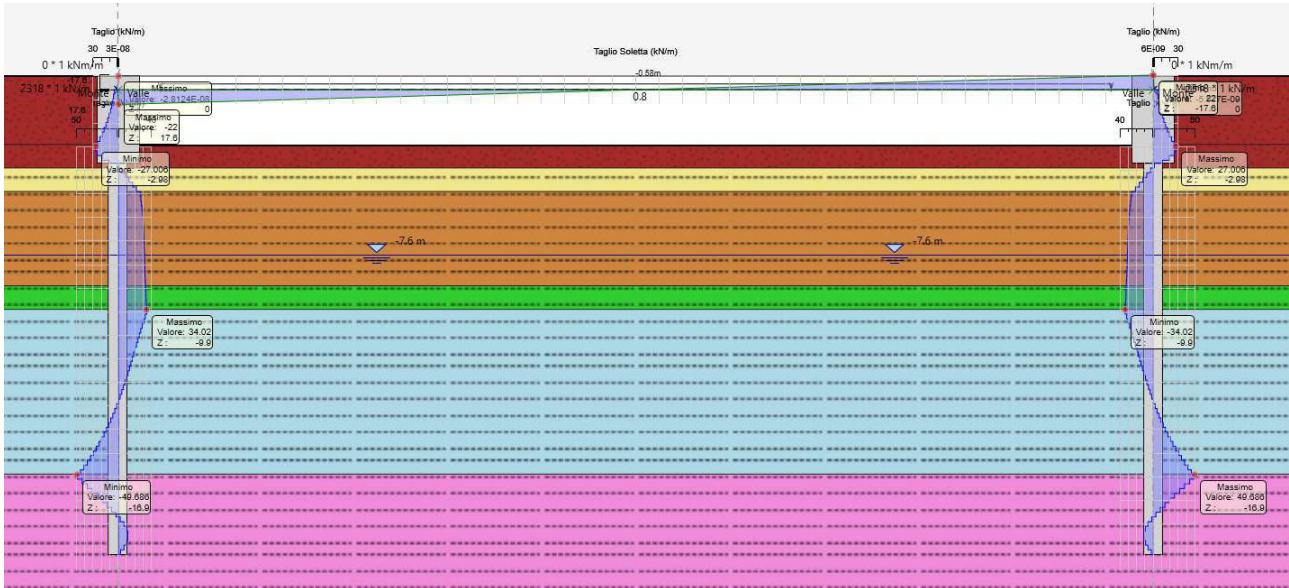


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica uniforme stagionale di contrazione:





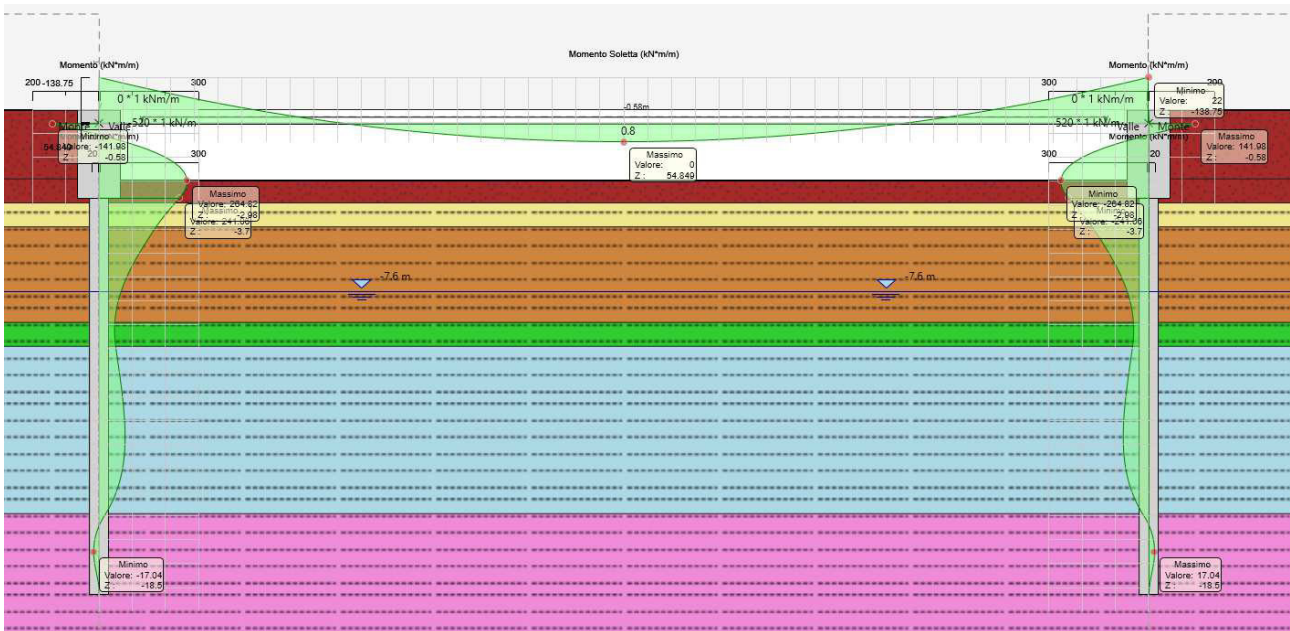
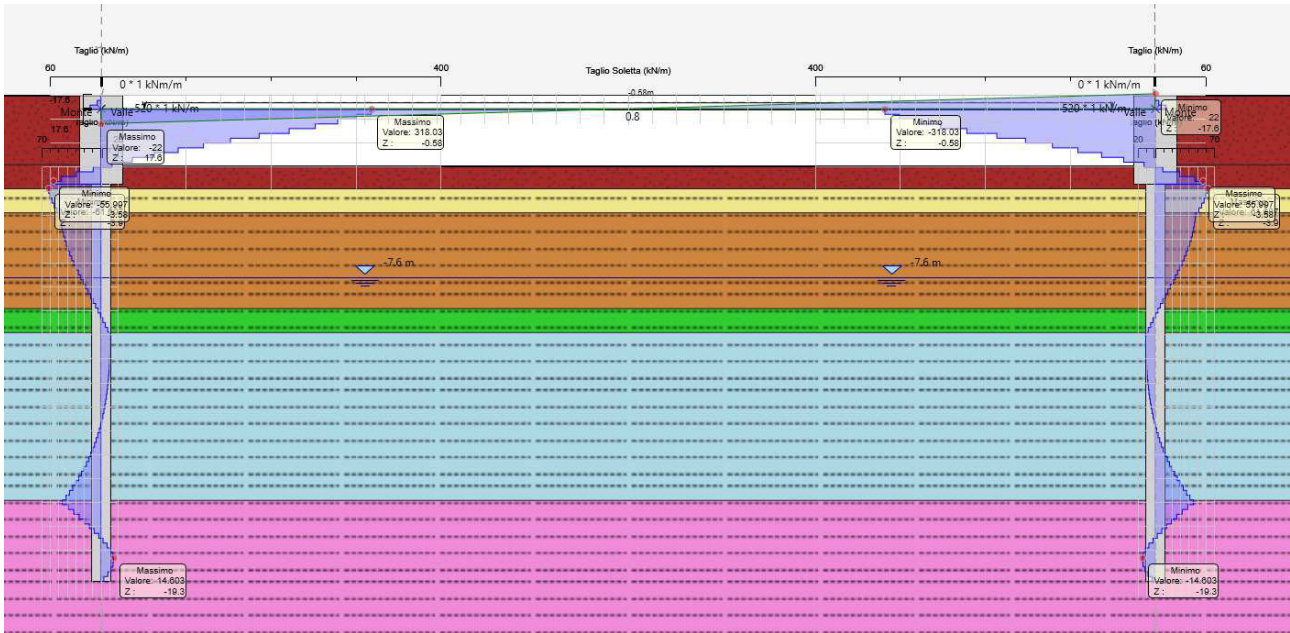


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica differenziale giornaliera di espansione:



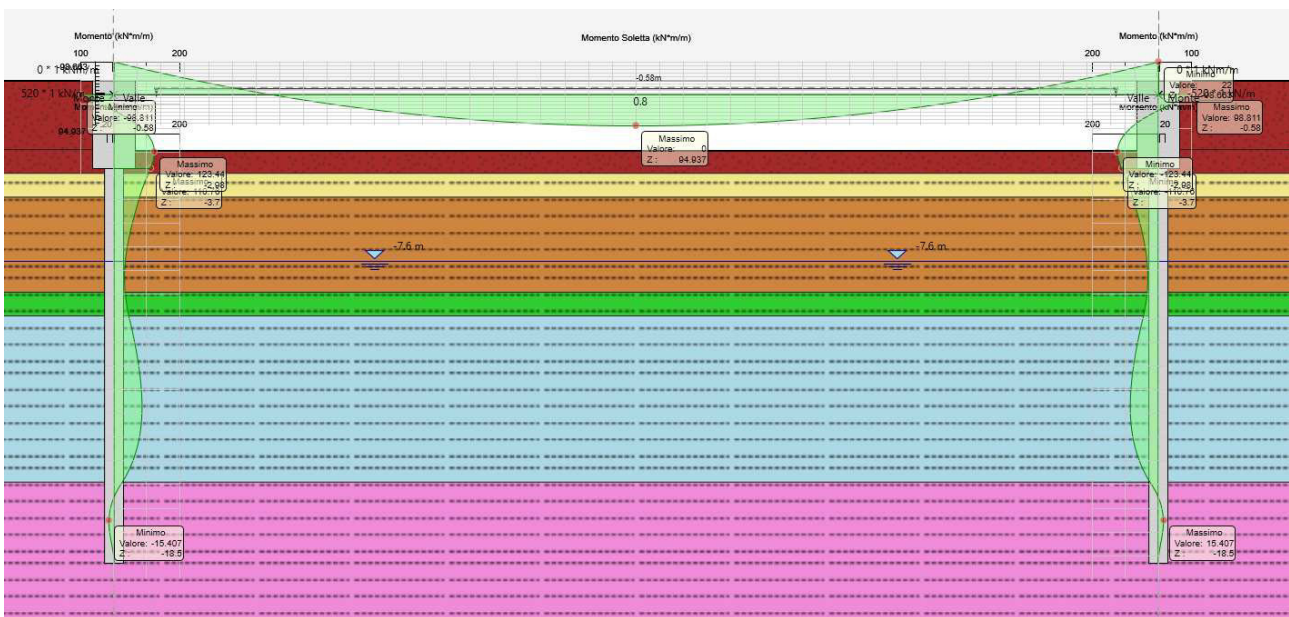
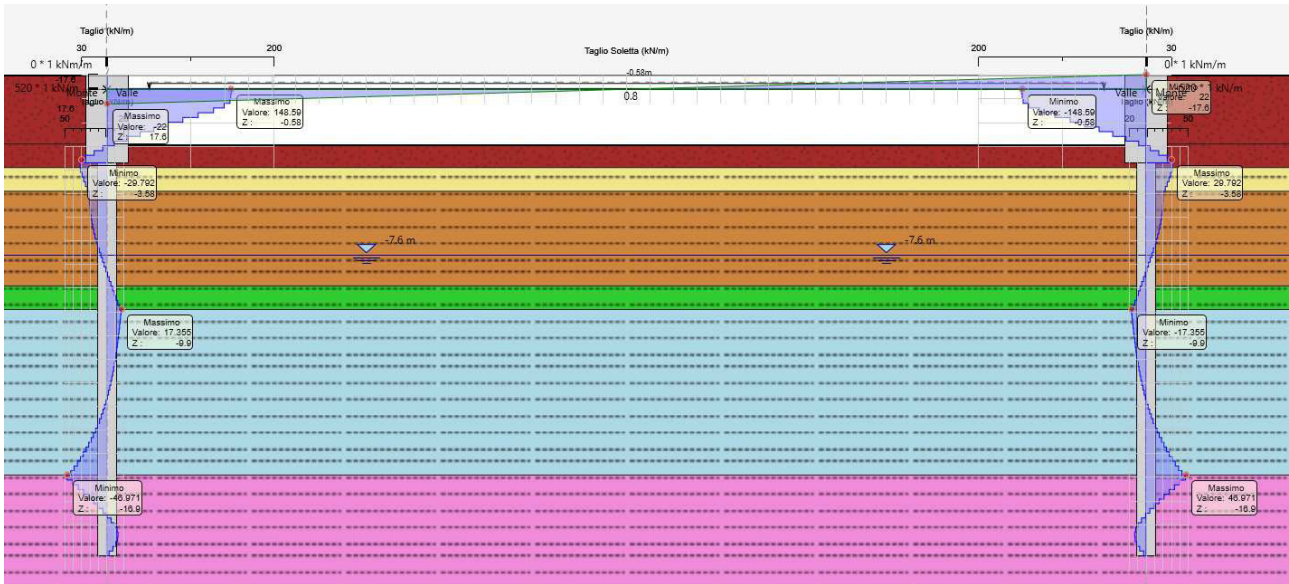


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica differenziale giornaliera di contrazione:

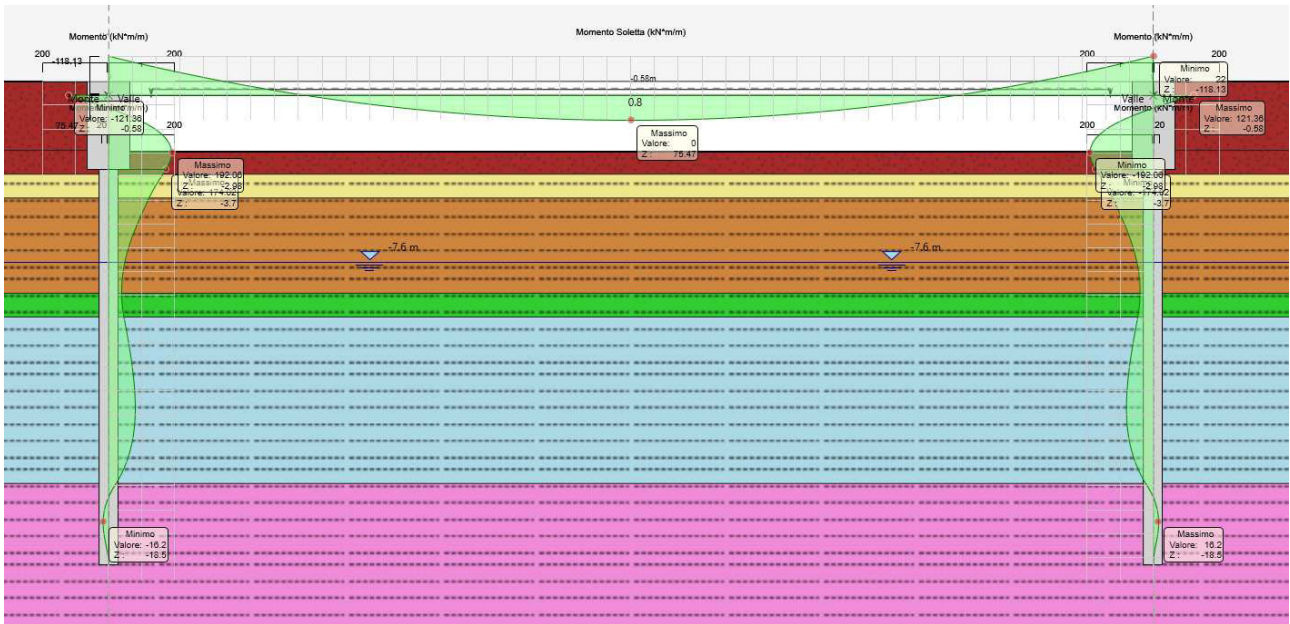
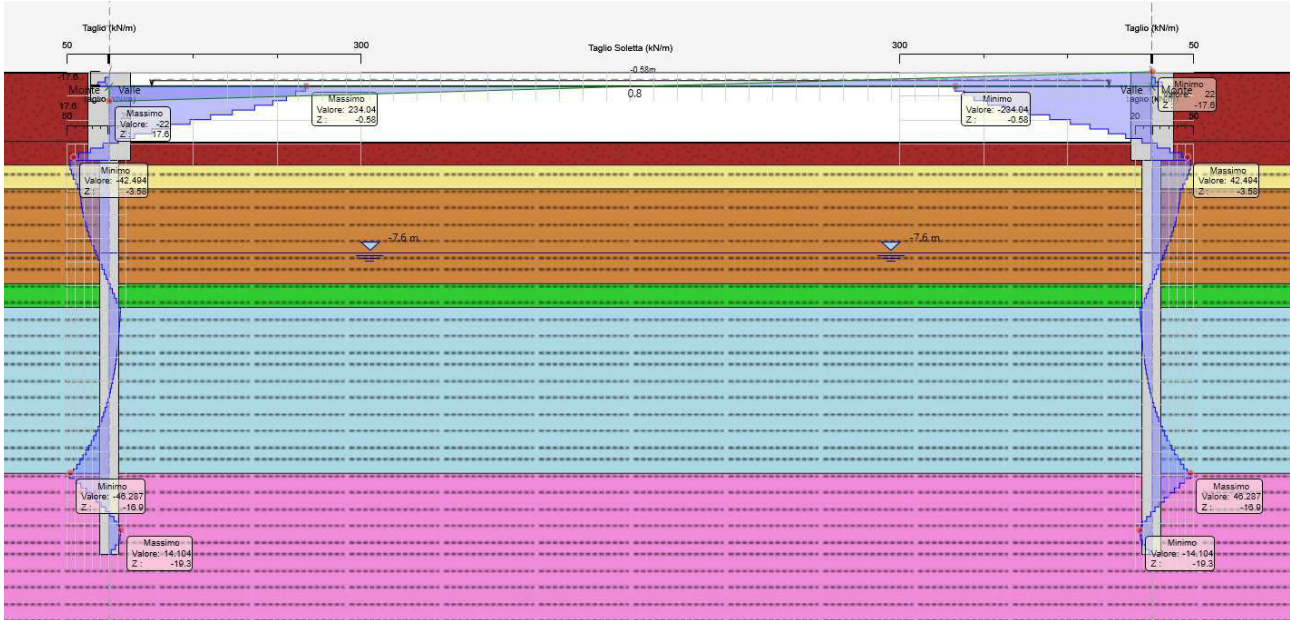


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Scarico struttura dalla variazione termica:



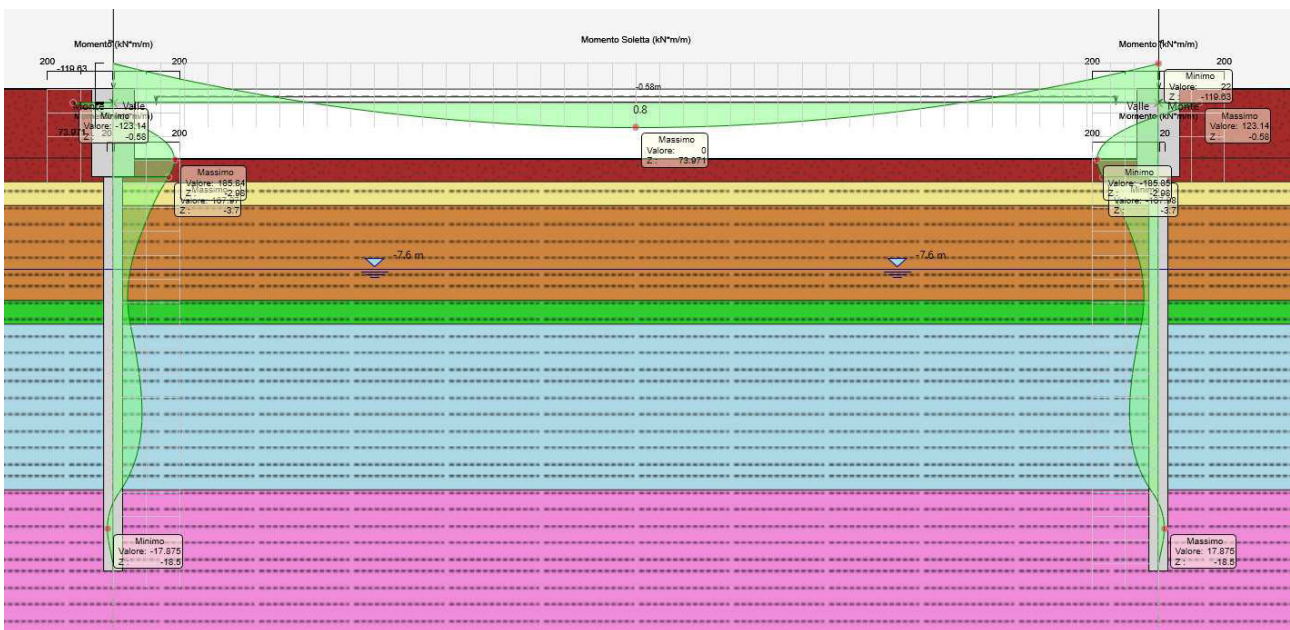
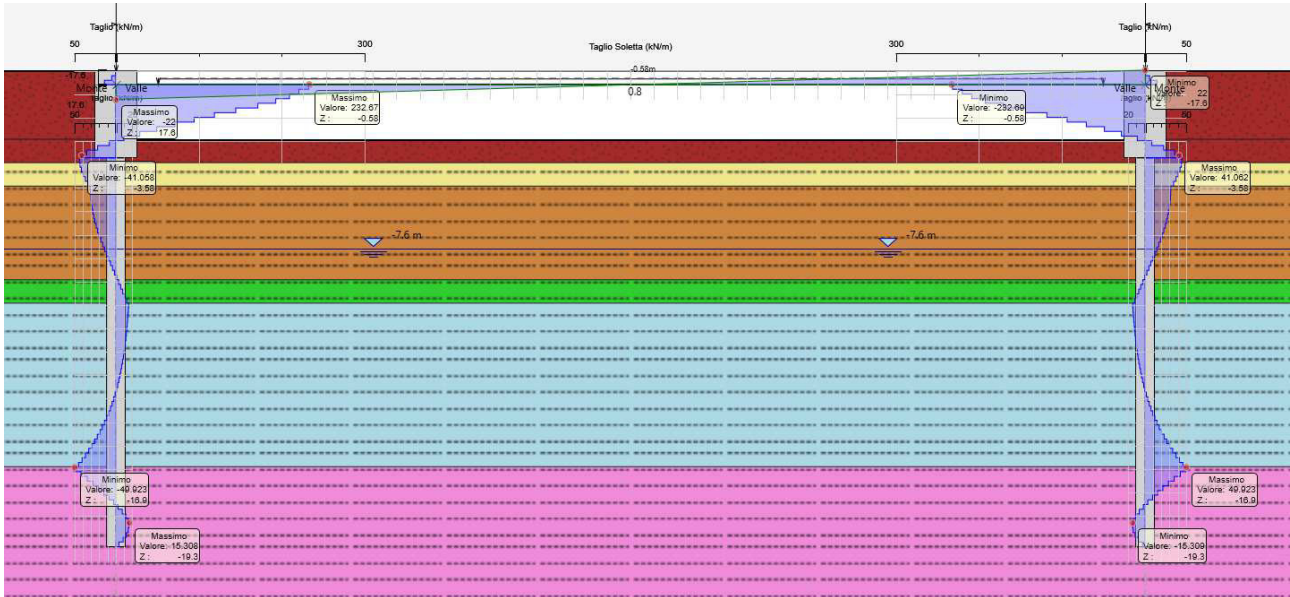


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Applicazione sovraccarico a tergo:

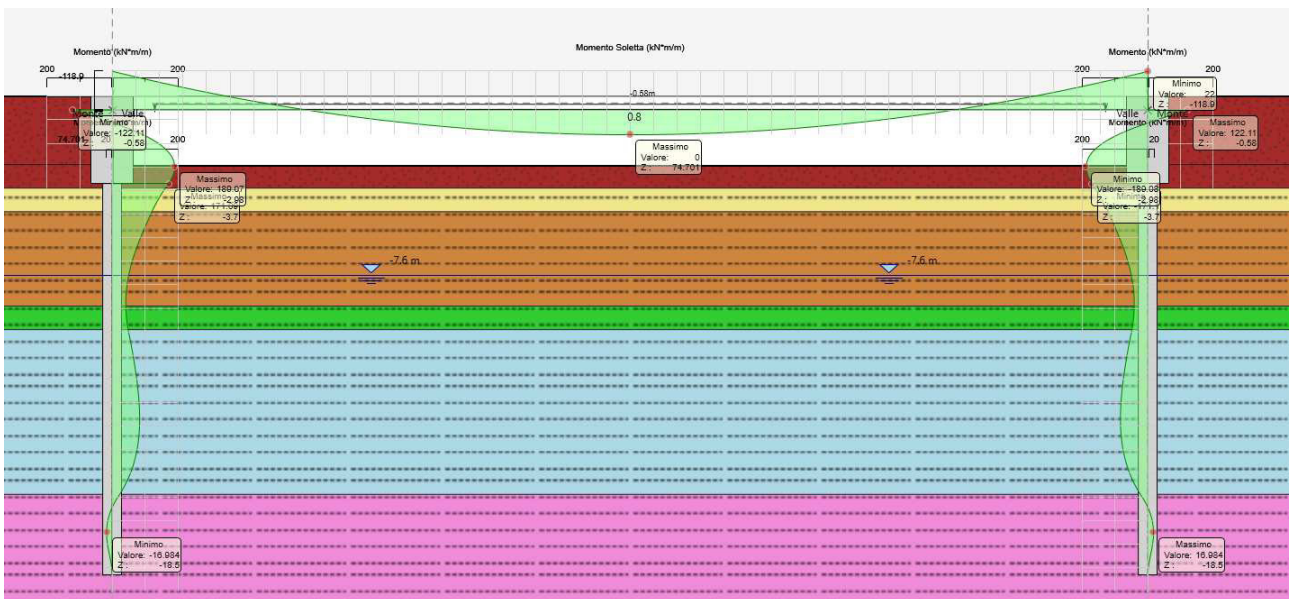
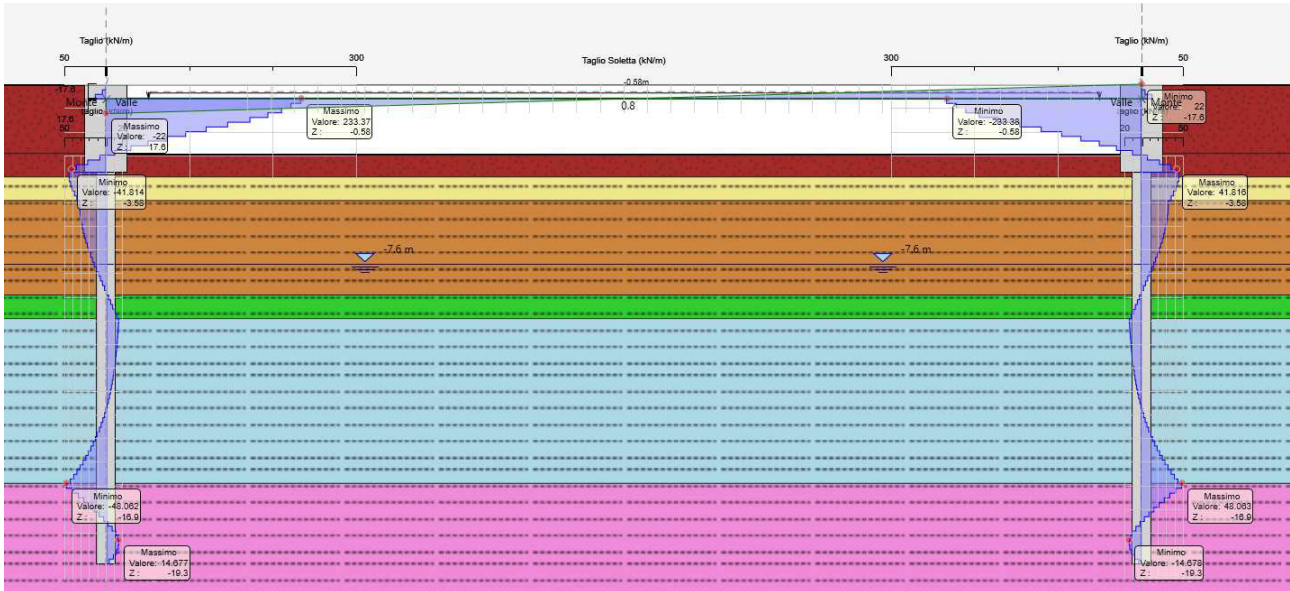


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Scarico:



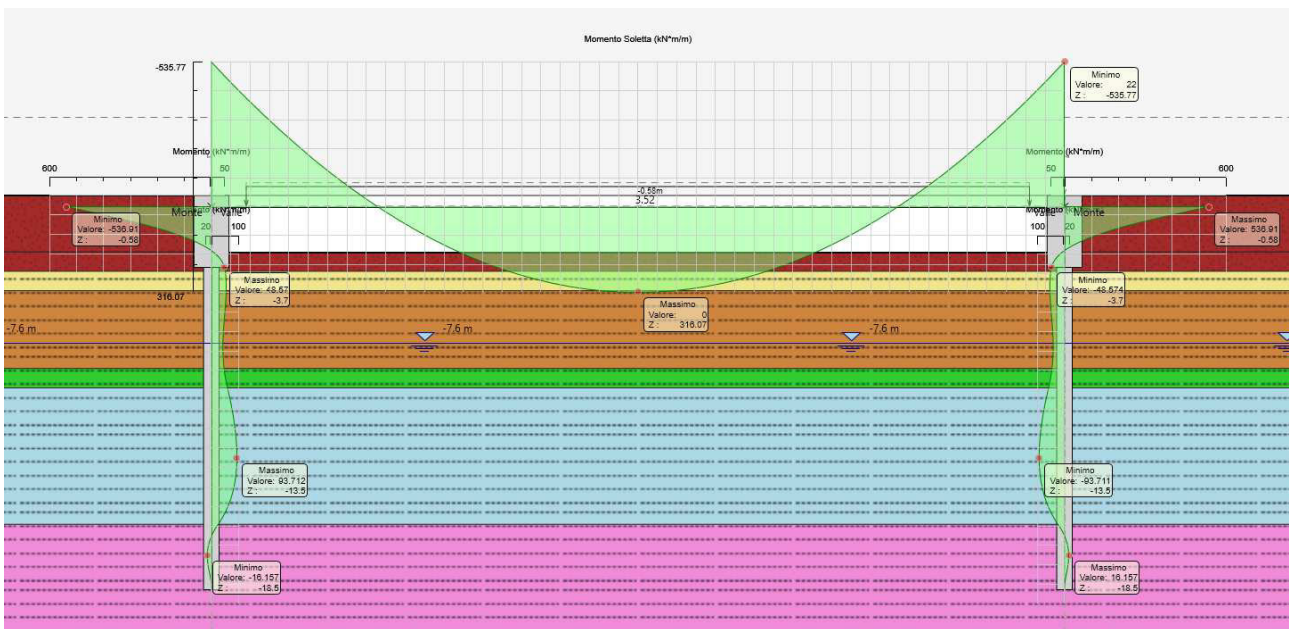
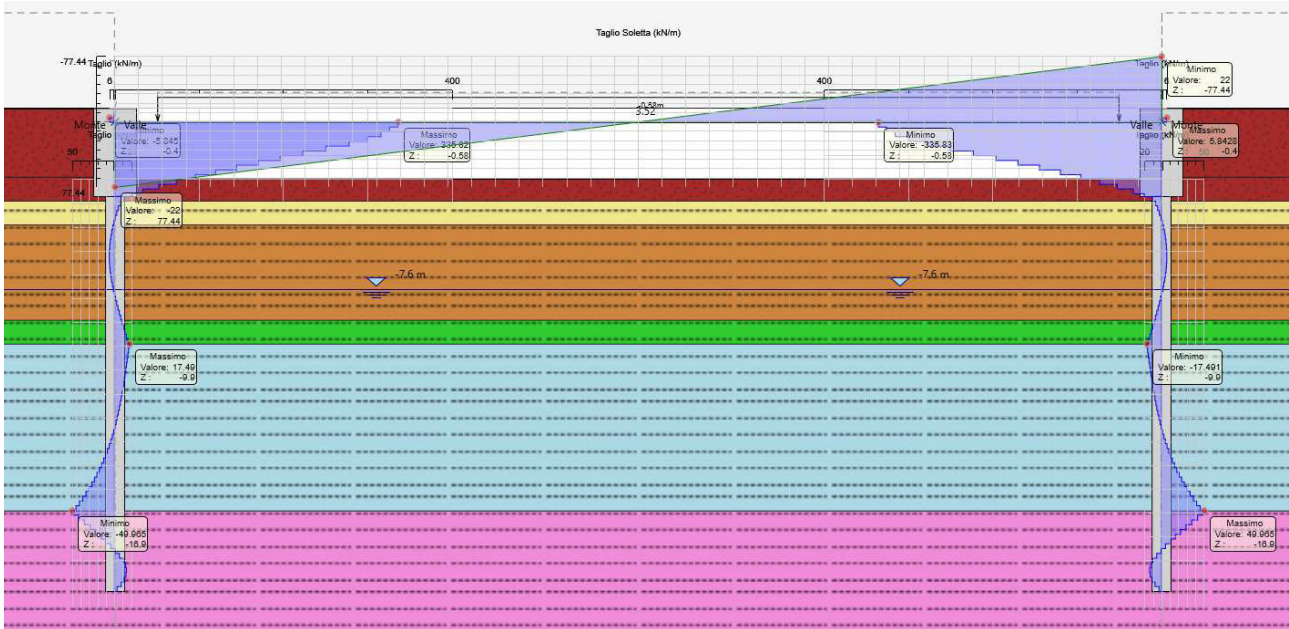


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Azione del vento:

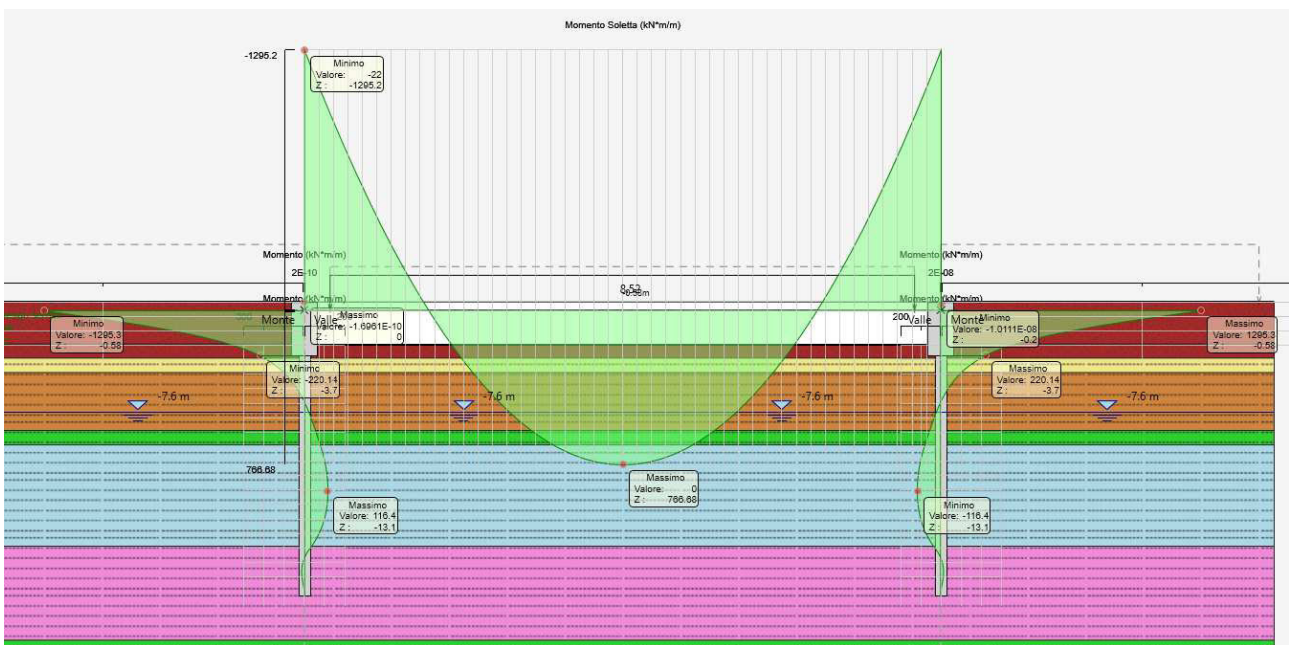
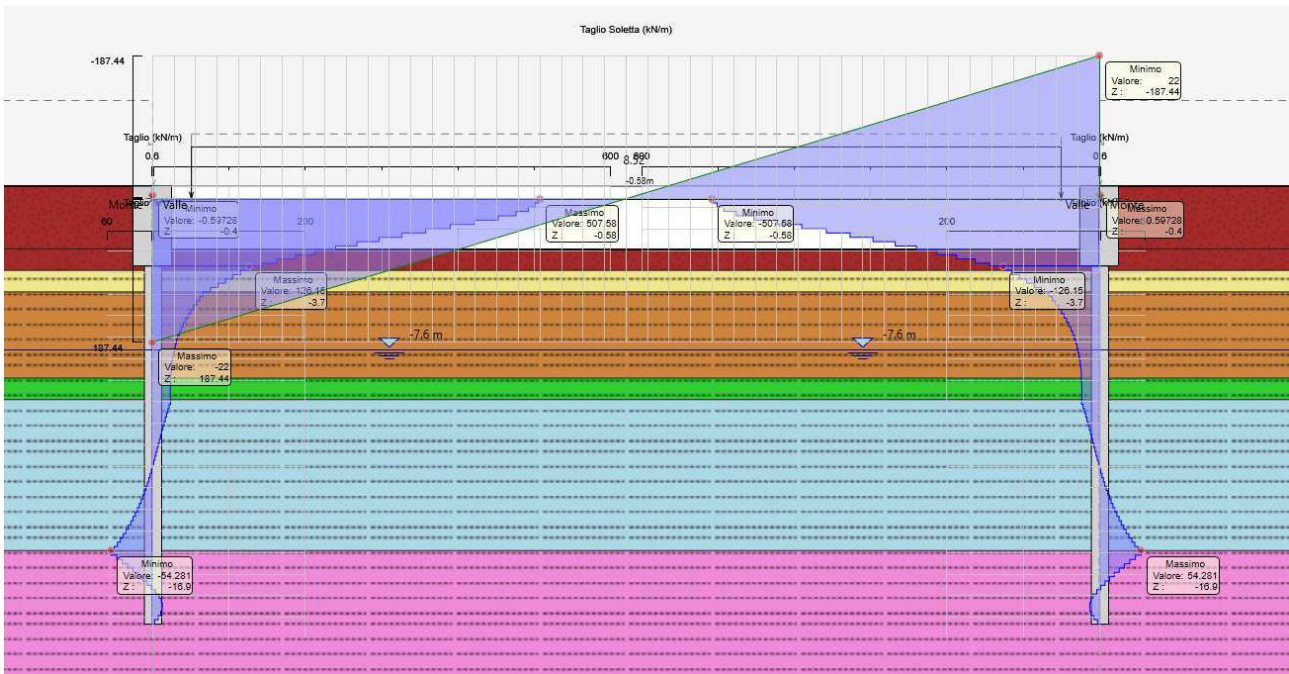


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Folla uniforme su impalcato:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 12.1.3.1. Modello Straus7

Per prima cosa si riporta la determinazione della rigidezza rotazionale applicata nel vincolo in spalla al modello dell'impalcato su Straus7. Per determinare la rigidezza di questa molla si è partiti dai risultati del modello in Paratie.

La rigidezza è stata valutata come:

$$k = \Delta M / \Delta \theta$$

in cui  $\Delta M$  è la differenza tra i momenti flettenti nel nodo di spalla tra due fasi successive, mentre  $\Delta \theta$  è la variazione di rotazione tra le due fasi.



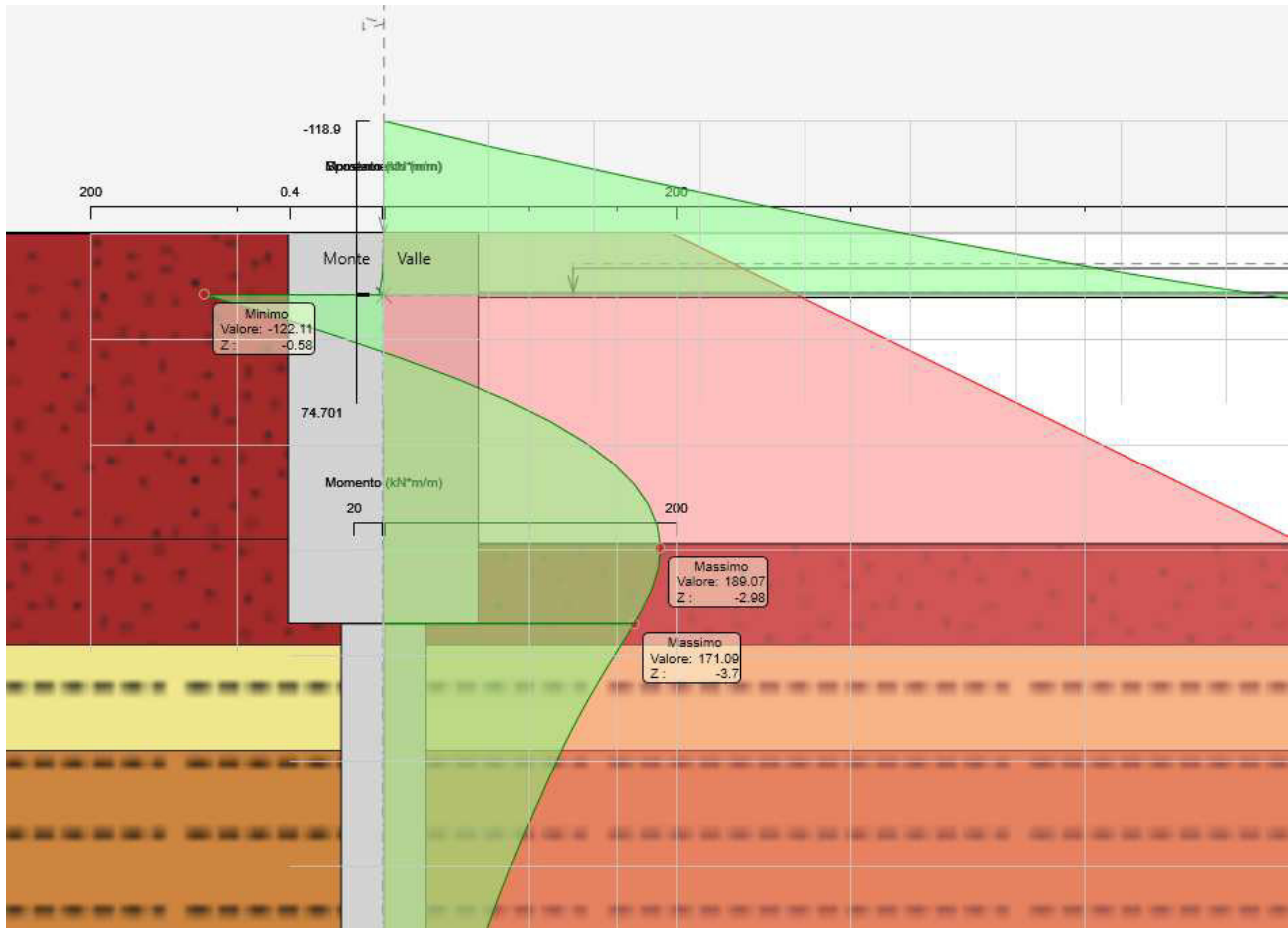
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per quanto riguarda i carichi a breve termine si riporta di seguito il diagramma di momento e spostamento del corpo spalla:

- Fase 1 (ponte scarico):



$$M_1 = 122 \text{ kNm/m}$$

$$\Theta_1 = \tan^{-1} ((0.176-0.123)/58) = 0.0523^\circ = 9.13 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

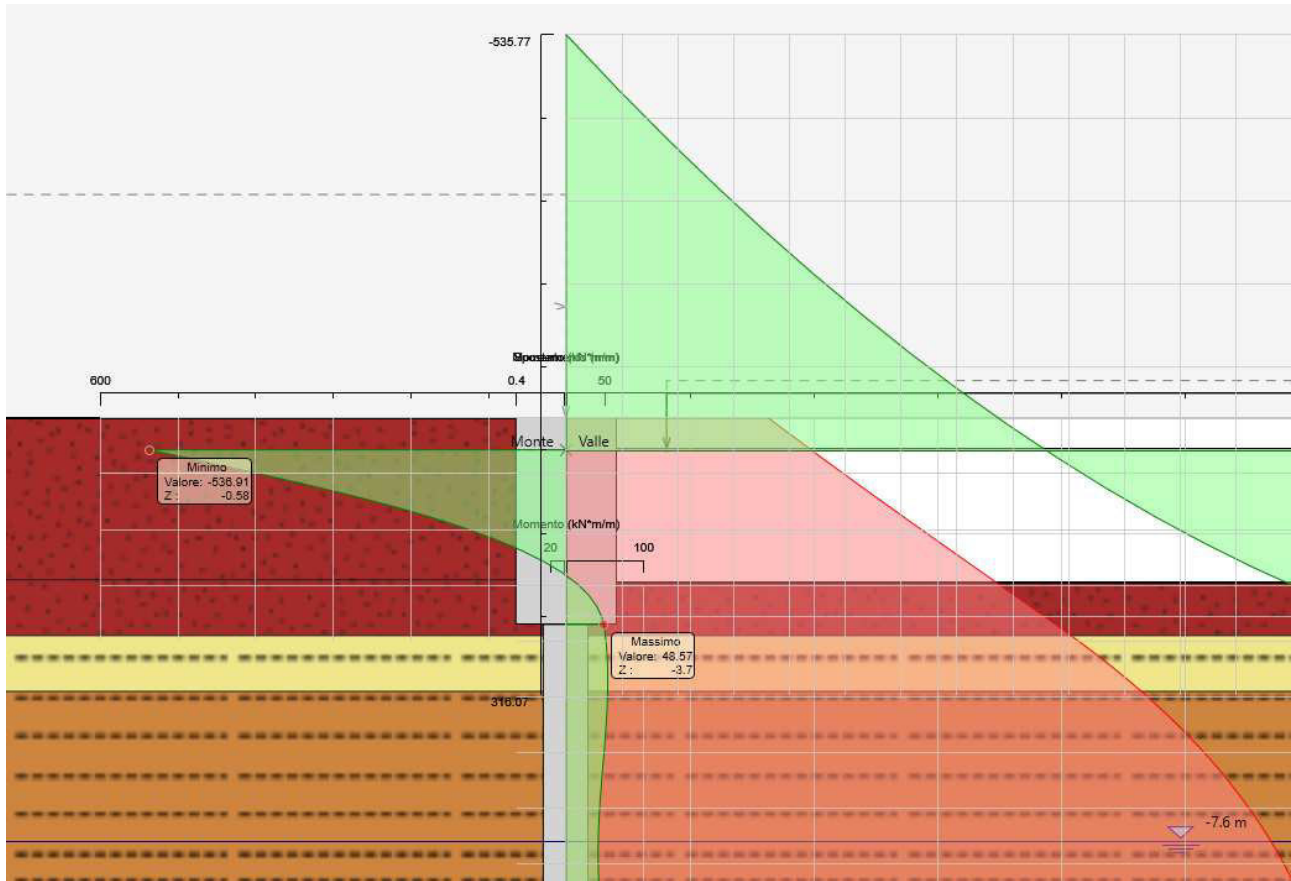


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Fase 2 (carichi distribuito su impalcato):



$$M_1 = 536 \text{ kNm/m}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} ((0.198-0.163)/58) = 0.0345^\circ = 6.02 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

Risulta quindi:

$$k = (536-122) / (9.13\text{e}^{-4} - 6.02\text{e}^{-4}) = 1322000 \text{ kNm/rad}$$

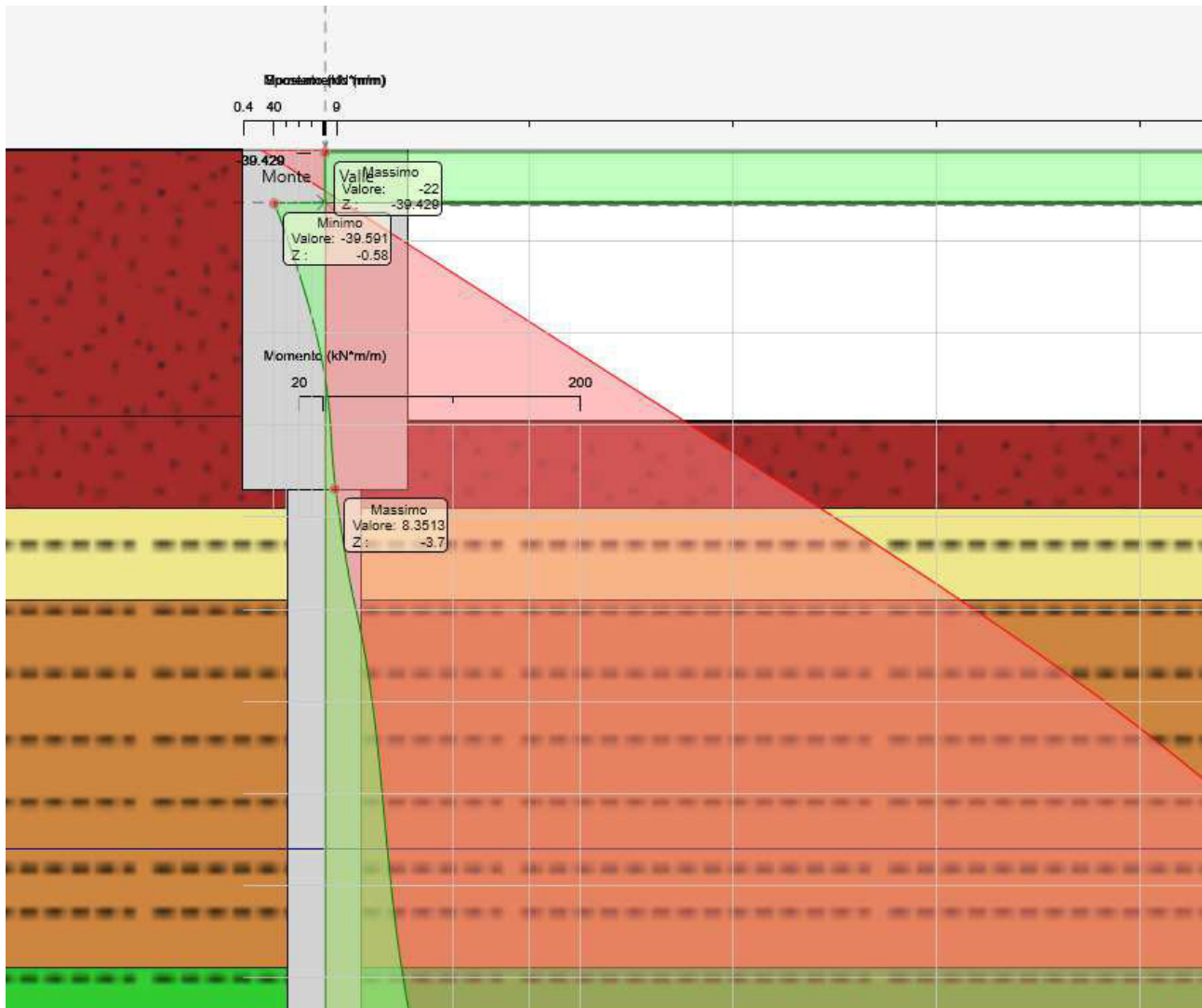
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per quanto riguarda i carichi a lungo termine si riporta di seguito il diagramma di momento e spostamento del corpo spalla:

- Fase 1 (ponte scarico):



$$M_1 = 39 \text{ kNm/m}$$

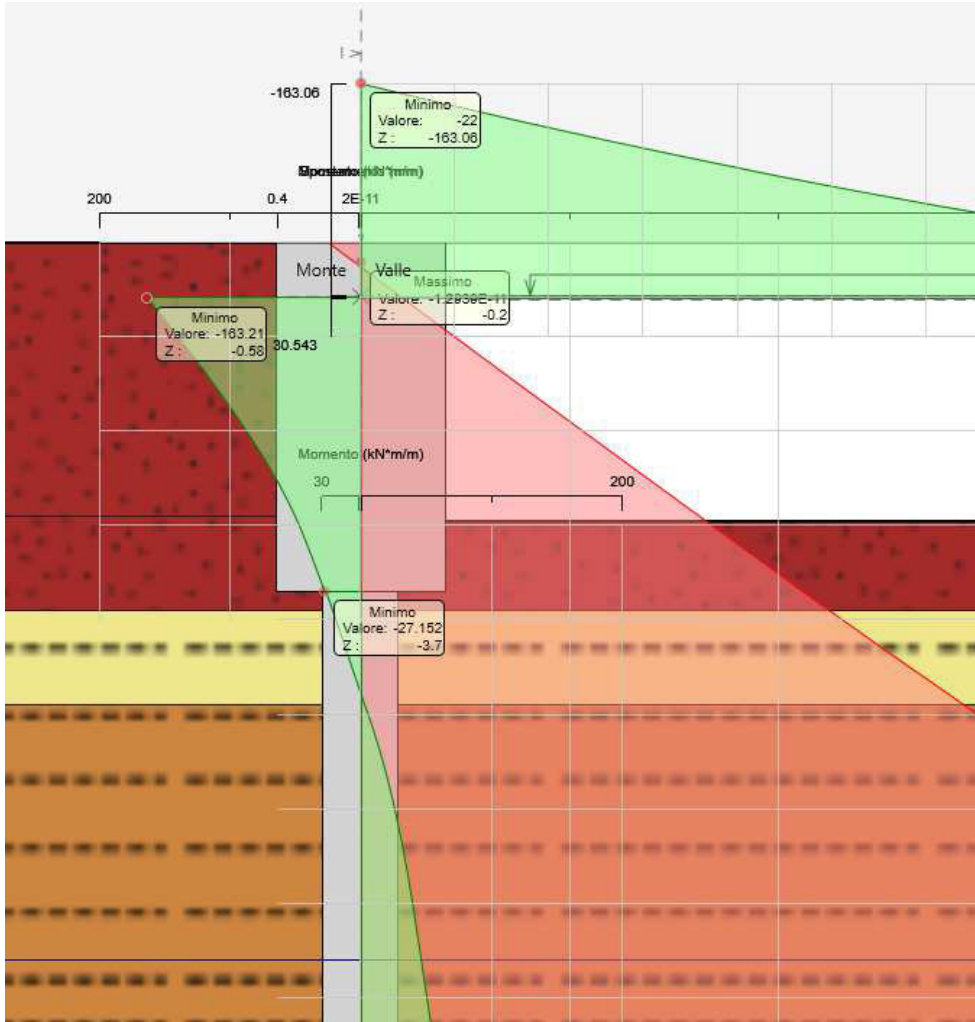
$$\Theta_1 = \tan^{-1} ((0.031+0.009)/58) = 0.0395^\circ = 6.89 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Fase 2 (carichi distribuito su impalcato):



$$M_1 = 163 \text{ kNm/m}$$

$$\Theta_1 = \tan^{-1} ((0.016+019)/58) = 0.0345^\circ = 6.02 \text{ e}^{-4} \text{ rad}$$

Risulta quindi:

$$k = (163-39) / (6.89\text{e}^{-4} - 6.02\text{e}^{-4}) = 1420000 \text{ kNm/rad}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

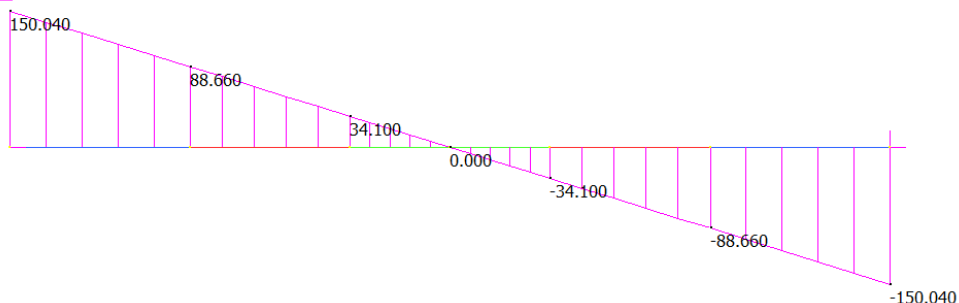
**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

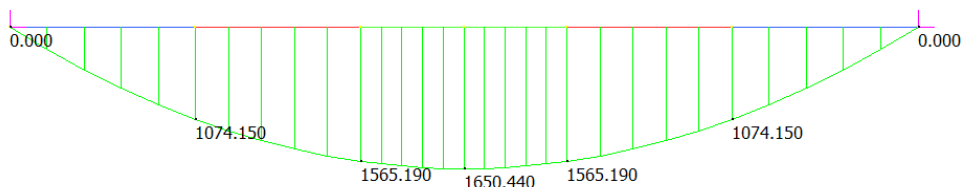
Note quindi le rigidzze da inserire nel modello Straus7 si riportano di seguito i diagrammi calcolati. Si specifica che i risultati sono relativi ad un metro di profondità quindi per riportarsi con le sollecitazioni a trave è necessario moltiplicare per l'afferenza della singola trave assunta pari a 1.25m.

- **Pesi Strutturali:**

	MIN	MAX
SF2(kN)	-150.040	150.040
	[Bm:5]	[Bm:1]

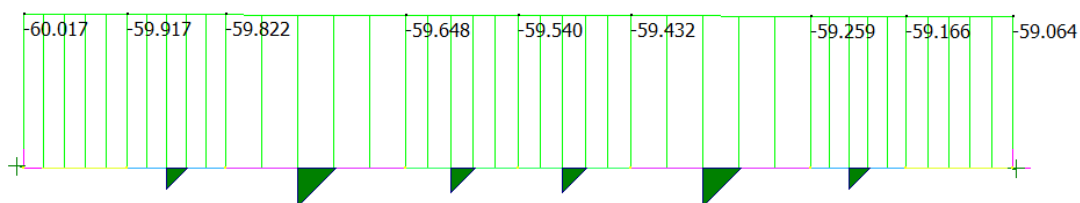


	MIN	MAX
BM2(kN.m)	0.000	1650.440
	[Bm:5]	[Bm:3]



- **Ritiro iperstatico:**

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-60.017	0.000
	[Bm:15]	[Bm:1]



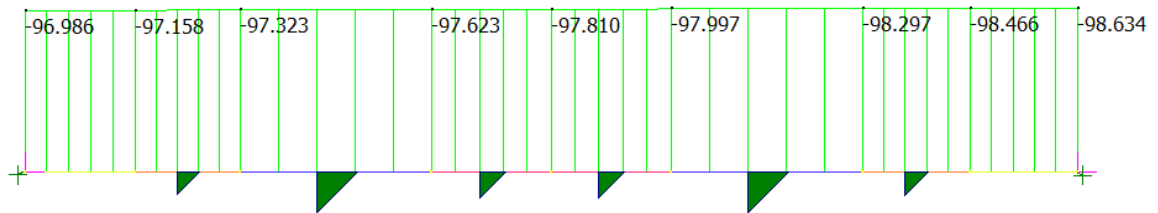
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Variazione termica giornaliera iperstatica:

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-98.634	0.000
	[Bm:18]	[Bm:1]



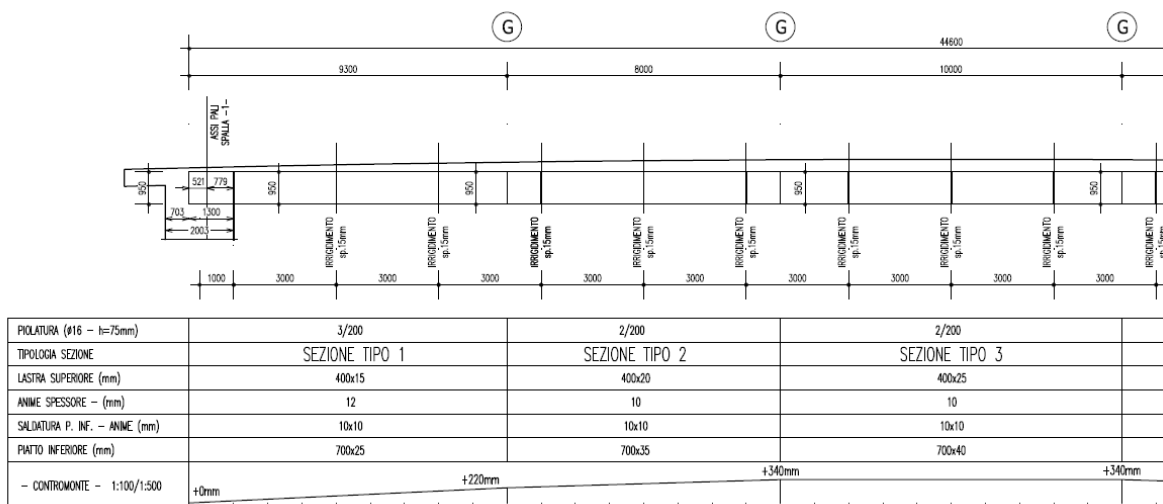
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.4. Sezioni di verifica significative

Le sezioni significative per le verifiche strutturali delle travi principali sono evidenziate nel seguito:



Definendo un ipotetico sistema di riferimento con asse "x" in direzione dello sviluppo longitudinale dell'impalcato, posizionato in asse tracciamento, con origine sull'asse appoggio della spalla A, le sezioni di verifica prese in considerazione per la trave longitudinale sono le seguenti:

- Sez. 1 in asse spalla ( $x=0.00m$ );
- Sez. 2a e 2b di cambio concio ( $x=9.30m$ );
- Sez. 3a e 3b di cambio concio ( $x=17.30m$ );
- Sez. 4 di mezzzeria ( $x=22.70m$ ).

La dicitura a e b nella nomenclatura della sezione, significa che si è studiata la sezione immediatamente a sinistra (a) e a destra (b) rispetto l'ascissa di calcolo. Ovvero con le medesime sollecitazioni si è verificato il concio precedente e successivo.

Le sezioni di verifica sono state scelte in funzione delle massime sollecitazioni riscontrate dal modello di calcolo e risultano essere le più significative tra tutte quelle analizzate. Sono state considerate la sezione in asse spalla, quella di cambio concio e la sezione di momento massimo positivo in campata.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**12.1.5. Sollecitazioni di calcolo**

Si riporta una tabella sintetica con le sollecitazioni elementari agenti nelle varie sezioni:

<b>Sez. 1</b>			
<b>X = 0.00m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>		187.50	
<b>Distorsione</b>			
<b>Perm. Portati e spinte</b>	37.50	21.25	-155.00
<b>Ritiro iper</b>		0.00	-73.75
<b>Traffico</b>	202.50	137.50	-950.00
<b>ΔT Diff iper</b>		0.00	-25.00
<b>ΔT Uniforme</b>	391.25	0	-110
<b>Cedim.</b>			
<b>Vento</b>	117.50	75.00	-521.25

<b>Sez. 2a</b>			
<b>X = 9.30m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>		111.25	1,342.50
<b>Distorsione</b>			
<b>Perm. Portati e spinte</b>	37.50	12.50	0.00
<b>Ritiro iper</b>		0.00	-73.75
<b>Traffico</b>	202.50	82.50	0.00
<b>ΔT Diff iper</b>		0.00	-122.50



**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\Delta T$ Uniforme	391.25	0	-110
Cedim.			
Vento	117.50	45.00	0.00

<b>Sez. 2b</b>			
<b>X = 9.30m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>	0.00	111.25	1,342.50
<b>Distorsione</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Perm. Portati e spinte</b>	37.50	12.50	0.00
<b>Ritiro iper</b>	0.00	0.00	-73.75
<b>Traffico</b>	202.50	82.50	0.00
<b><math>\Delta T</math> Diff iper</b>	0.00	0.00	-122.50
<b><math>\Delta T</math> Uniforme</b>	391.25	0.00	-110.00
<b>Cedim.</b>	0.00	0.00	0.00
<b>Vento</b>	117.50	45.00	0.00

<b>Sez. 3a</b>			
<b>X = 17.30m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
<b>PP Acciaio</b>			
<b>PP Soletta</b>			
<b>Strutturali</b>		42.50	1,956.25
<b>Distorsione</b>			
<b>Perm. Portati e spinte</b>	37.50	5.00	72.50
<b>Ritiro iper</b>		0.00	-73.75
<b>Traffico</b>	202.50	33.75	475.00
<b><math>\Delta T</math> Diff iper</b>		0.00	-122.50

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\Delta T$ Uniforme	391.25	0	-110
Cedim.			
Vento	117.50	18.75	255.00

<b>Sez. 3b</b>			
<b>X = 17.30m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
PP Acciaio			
PP Soletta			
Strutturali	0.00	42.50	1,956.25
Distorsione	0.00	0.00	0.00
Perm. Portati e spinte	37.50	5.00	72.50
Ritiro iper	0.00	0.00	-73.75
Traffico	202.50	33.75	475.00
$\Delta T$ Diff iper	0.00	0.00	-122.50
$\Delta T$ Uniforme	391.25	0.00	-110.00
Cedim.	0.00	0.00	0.00
Vento	117.50	18.75	255.00

<b>Sez. 4</b>			
<b>X = 22.30m</b>			
	<b>N</b> [kN]	<b>T</b> [kN]	<b>M</b> [kNm]
PP Acciaio			
PP Soletta			
Strutturali			2,062.50
Distorsione			
Perm. Portati e spinte	37.50	0.00	86.25
Ritiro iper		0.00	-73.75
Traffico	202.50	0.00	563.75
$\Delta T$ Diff iper		0.00	-122.50

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\Delta T$ Uniforme	391.25	0	-110
Cedim.			
Vento	117.50	0.00	302.50

## 12.1.6. Verifiche strutturali travi

Di seguito sono riportate le classificazioni delle sezioni in accordo a quanto espresso in EN 1994-2\_5.5.1, eseguite al termine della fase 3 in funzione delle sollecitazioni globali  $N_{Ed}$  ed  $M_{Ed}$ .

Tendenzialmente le sezioni a momento positivo risultano avere l'asse neutro che ricade circa all'altezza dell'interfaccia tra piattabanda superiore e soletta, essendo che la soletta risulta non fessurata e quindi interamente reagente, per cui l'intera trave in acciaio risulta tesa (ad esclusione eventualmente della piattabanda superiore che comunque è piolata alla soletta e quindi stabile) e quindi non soggetta a fenomeni di instabilità locale; mentre al contrario le sezioni a momento negativo sono caratterizzate da un asse neutro posizionato circa a metà altezza della trave in acciaio, per cui parte dell'anima e la piattabanda inferiore risultano compresse e quindi potenzialmente ricadenti in classe 4.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.6.1. Section Sez. 1\_1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	950 mm
Top flange	400x15 mm
Bottom flange	350x25 mm
Web	12x942 mm, Skew: 15
Slab	1313x130 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 20 mm, bar spacing 100 mm, dist. top slab face-bar centre 65 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 200 mm, dist. bottom slab face-bar centre 2 mm
Studs	diameter 16 mm, height 75 mm, number 15/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	150x15 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	2.606E+4	3.966E+4	3.966E+4	3.966E+4	5.863E+4	3.018E+4
z <sub>G</sub> (mm)	429.506	630.38	630.38	630.38	754.799	509.529
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	3.91E+9	6.988E+9	6.988E+9	6.988E+9	8.913E+9	5.131E+9
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.104E+6	-1.109E+7	-1.109E+7	-1.109E+7	-1.181E+7	-1.007E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.666E+6	-1.154E+7	-1.154E+7	-1.154E+7	-1.221E+7	-1.059E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.735E+6	2.294E+7	2.294E+7	2.294E+7	4.946E+7	1.206E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.512E+6	2.186E+7	2.186E+7	2.186E+7	4.566E+7	1.165E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	2.186E+7	2.186E+7	2.186E+7	4.566E+7	1.165E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.817E+7	1.817E+7	1.817E+7	3.425E+7	1.015E+7
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.554E+7	1.554E+7	1.554E+7	2.741E+7	8.994E+6
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.649E+6	5.406E+6	5.406E+6	5.406E+6	6.495E+6	4.349E+6
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.665E+6	7.683E+6	7.683E+6	7.683E+6	9.803E+6	5.807E+6
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.078E+6	7.107E+6	7.107E+6	7.107E+6	9.602E+6	4.683E+6
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.313E-10	5.234E+6	5.234E+6	5.234E+6	8.476E+6	2.085E+6
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	1.888E+6	1048.29	1080	1016.57
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	1.813E+6	982.96	1013.43	952.5
Concrete layer below top reinforcing bars	7.44E+4	951.25	952.5	950
Top reinforcing bars	1.614E+6	1015	1016.57	1013.43
Bottom reinforcing bars	0E+00	952.5	952.5	952.5
Concrete haunch slab	0E+00	950	950	950
Top flange of steel beam	2.029E+6	942.5	950	935

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Web of steel beam	3.822E+6	480	935	25
Bottom flange of steel beam	2.958E+6	12.5	25	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-1.42E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	1.042E+7			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-1.038E+7			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	6.601E+6			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	12.91 9	0.814	1	0
Bottom flange	6.752	0.814	1	1

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	78.508	0.814	0.59	-0.878	3
Sagging bending moment (M-)	78.508	0.814	0	-0.247	1
Compression (N)	78.508	0.814	1	1	4

### Interaction diagrams

<i>Full composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	4.026E+3	561.46
-1.42E+3	4.181E+3	730.48
-2.84E+3	4.096E+3	899.51
-4.26E+3	3.843E+3	939.15
-5.679E+3	3.577E+3	944.4
-7.099E+3	3.304E+3	949.65
-8.519E+3	2.998E+3	994.49
-9.939E+3	2.635E+3	1014.26
-1.136E+4	2.266E+3	1015.64
-1.278E+4	1.891E+3	1032.29
-1.42E+4	1.463E+3	1080
0E+00	-4.914E+3	937.36
-1.42E+3	-5.134E+3	841.87
-2.84E+3	-5.138E+3	672.85
-4.26E+3	-4.901E+3	503.83
-5.679E+3	-4.425E+3	334.81
-7.099E+3	-3.709E+3	165.79
-8.519E+3	-2.756E+3	24
-9.939E+3	-1.714E+3	18
-1.136E+4	-6.632E+2	12
-1.278E+4	3.957E+2	6
-1.42E+4	1.463E+3	0
0E+00	4.026E+3	561.46
1.042E+3	3.76E+3	437.38
2.085E+3	3.365E+3	313.31
3.127E+3	2.84E+3	189.23
4.169E+3	2.186E+3	65.15
5.212E+3	1.431E+3	22.02
6.254E+3	6.647E+2	17.62
7.296E+3	-1.06E+2	13.21
8.339E+3	-8.813E+2	8.81
9.381E+3	-1.661E+3	4.4
1.042E+4	-2.446E+3	0
0E+00	-4.914E+3	937.36

<i>Web less composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	2.873E+3	937.53
-1.038E+3	2.681E+3	941.37
-2.075E+3	2.485E+3	945.2
-3.113E+3	2.286E+3	949.04
-4.151E+3	2.073E+3	976.13
-5.188E+3	1.825E+3	1011
-6.226E+3	1.557E+3	1014.37
-7.264E+3	1.287E+3	1015.38
-8.301E+3	1.016E+3	1016.39
-9.339E+3	7.322E+2	1045.13
-1.038E+4	4.128E+2	1080
0E+00	-3.136E+3	963.53
-1.038E+3	-3.341E+3	947.65
-2.075E+3	-3.539E+3	943.82
-3.113E+3	-3.733E+3	939.98
-4.151E+3	-3.923E+3	936.14
-5.188E+3	-3.446E+3	21.92
-6.226E+3	-2.684E+3	17.54
-7.264E+3	-1.916E+3	13.15
-8.301E+3	-1.144E+3	8.77
-9.339E+3	-3.681E+2	4.38
-1.038E+4	4.128E+2	0
0E+00	2.873E+3	937.53
6.601E+2	2.992E+3	935.09
1.32E+3	2.532E+3	22.31
1.98E+3	2.047E+3	19.52
2.64E+3	1.561E+3	16.73
3.301E+3	1.073E+3	13.95
3.961E+3	5.83E+2	11.16
4.621E+3	9.123E+1	8.37
5.281E+3	-4.024E+2	5.58
5.941E+3	-8.979E+2	2.79
6.601E+3	-1.395E+3	0
0E+00	-3.136E+3	963.53

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

1.042E+3	-4.722E+3	941.21
2.085E+3	-4.525E+3	945.06
3.127E+3	-4.325E+3	948.92
4.169E+3	-4.112E+3	975.19
5.212E+3	-3.864E+3	1010.21
6.254E+3	-3.594E+3	1014.35
7.296E+3	-3.323E+3	1015.36
8.339E+3	-3.051E+3	1016.38
9.381E+3	-2.766E+3	1044.98
1.042E+4	-2.446E+3	1080

6.601E+2	-2.991E+3	985.71
1.32E+3	-2.831E+3	1007.89
1.98E+3	-2.661E+3	1013.91
2.64E+3	-2.49E+3	1014.55
3.301E+3	-2.318E+3	1015.2
3.961E+3	-2.146E+3	1015.84
4.621E+3	-1.973E+3	1016.48
5.281E+3	-1.795E+3	1035.64
5.941E+3	-1.603E+3	1057.82
6.601E+3	-1.395E+3	1080

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	2.53E+5	0E+00	0E+00
2a	5.06E+4	2.87E+4	2.09E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.85E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.87E+5	0	-1.1E+5	0
2c	3.52E+5	0E+00	9.9E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	2.25E+4	0E+00
Therm.Iso	-5.38E+5	0	-1.4E+5	0
3b	3.79E+5	2.53E+5	1.75E+6	0E+00
Total	-4.26E+4	5.35E+5	1.92E+6	0E+00

#### *Bending resistance - Plastic analysis*

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	78.51	566.53	0.6	-1.15	3
Top flange	12.92				1
Bottom flange	6.75				1
Section class					3

Plastic analysis: NOT APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4	M <sub>Ed</sub> (Nm)	1.921E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.42E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	4.026E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	1.921E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	4.035E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.003	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.477	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.476

NOT RELEVANT CHECK

#### *Axial force and bending moment stresses of gross cross section*

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0.8	0	1.2	0	0.8	0	0	0.9	0	11.7	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	12.8	22.3	-8.4	8.7	14.3	21.4	52.4	-12.6	2.2	57.6	185.1	239.8	0.613
σ <sub>6</sub>	0	1.3	1.7	-7.2	0	8.9	11.7	13.3	-9.2	0	6.5	12.6	25.9	0.066
σ <sub>5</sub>	0	0.6	0	1.2	0	0.7	0	0	1.2	0	7.5	0	0	0
σ <sub>4</sub>	0	10.8	19.6	-8.2	7.6	13.4	20.2	47.4	-11.7	1.9	44.8	162.9	212.3	0.628
σ <sub>3</sub>	0	10.4	19	-8.2	7.3	13.2	19.9	46.2	-11.5	1.9	41.9	157.8	205.9	0.609
σ <sub>2</sub>	0	1.3	1.7	-7.2	0	8.9	11.7	13.3	-9.2	0	6.5	12.6	25.9	0.077
σ <sub>1</sub>	0	-16.9	-18.1	-5.3	-8.4	0.3	2.3	-24.1	0.4	-2.1	-137	-152.9	-179.1	0.53

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_0$	0	-17.6	-19.1	-5.3	-8.8	-0.1	1.8	-26.1	0.8	-2.2	-141.9	-161.4	-189.7	0.561
------------	---	-------	-------	------	------	------	-----	-------	-----	------	--------	--------	--------	-------

Maximum utilization ratio:0.628 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.87 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.57 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 15.5 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 11.24 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 78.508 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 50.332 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  **$V_{b,Rd} = 1.645E+6$  N**

With:

$a/h_w = 3.184, \eta = 1.2, K_\tau = 5.734$   
 web contribution:  $V_{bw,Rd} = 1.623E+6$  N, flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = 2.122E+4$  N  
 $\chi_w = 0.771, \lambda_w = 1.077, \tau_{cr} = 176.8, C = 848.6$   
 $M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 2.473E+6$  Nm,  $M_{f,Rd} = 2.865E+6$  Nm,  $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.863$

Plastic resistance:  **$V_{pl,Rd} = 2.648E+6$  N**

Shear resistance:  **$V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.645E+6$  N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.337, \quad (=> \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.341, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.628$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	$N$ (N)	$V$ (N)	$M$ (Nm)	$T$ (Nm)
1	0E+00	2.53E+5	0E+00	0E+00
2a	0E+00	2.87E+4	2.09E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-2.25E+4	0E+00
Therm.Iso	5.38E+5	0	1.4E+5	0
3b	0E+00	1.18E+5	8.13E+5	0E+00
Total	5.38E+5	4E+5	1.14E+6	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmin comb.)

	$c/t$	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	78.51	497.46	0.52	-0.88	3
Top flange	12.92				1



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bottom flange	6.75				1
Section class					3
Plastic analysis: NOT APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5	M <sub>Ed</sub> (Nm)	1.14E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5
N <sub>Rd</sub> (N)	1.042E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	4.026E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	1.14E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	3.905E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.052	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.283	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.292
NOT RELEVANT CHECK					

*Axial force and bending moment stresses of gross cross section*

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0.7	0	0	0	0	0	0	-0.9	0	4.9	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	11.5	20.6	0	0	0	0	20.6	12.6	-2.2	23.7	80.1	98.5	0.252
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0	0	0	0	0
σ <sub>5</sub>	0	0.5	0	0	0	0	0	0	-1.2	0	3	0	0	0
σ <sub>4</sub>	0	9.6	18	0	0	0	0	18	11.7	-1.9	17.8	69.8	85.9	0.254
σ <sub>3</sub>	0	9.1	17.4	0	0	0	0	17.4	11.5	-1.9	16.4	67.4	82.9	0.245
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0	0	0	0	0
σ <sub>1</sub>	0	-18.1	-19.8	0	0	0	0	-19.8	-0.4	2.1	-66.6	-76.8	-94.4	0.279
σ <sub>0</sub>	0	-18.9	-20.8	0	0	0	0	-20.8	-0.8	2.2	-68.9	-80.8	-99.3	0.294

Maximum utilization ratio: 0.294 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0.75 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0.53 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.79 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.31 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 78.508 > 31/\eta \cdot \epsilon_w \cdot (K_\tau)^{0.5} = 50.332 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = 1.697E+6 N**

With:

$$a/h_w = 3.184, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 5.734$$

$$\text{web contribution: } V_{bw,Rd} = 1.623E+6 \text{ N, flanges contribution: } V_{bf,Rd} = 7.376E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.771, \quad \lambda_w = 1.077, \quad \tau_{cr} = 176.8, \quad C = 848.6$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 2.97E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.337$$

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = 2.648E+6 N**

Shear resistance: **V<sub>Rd</sub> = min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>) = 1.697E+6 N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.244, \quad (= > \text{ CHECK VERIFIED } )$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.255, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.294$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

**SLS stresses verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.88E+5	0E+00	0E+00
2a	3.75E+4	2.12E+4	1.55E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-9.19E+4	0
2c	2.35E+5	0E+00	6.6E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	1.5E+4	0E+00
Therm.Iso	-3.58E+5	0	-9.33E+4	0
3b	3.44E+5	1.82E+5	1.26E+6	0E+00
Total	1.87E+4	3.91E+5	1.39E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0.6	0	1	0	0.6	0	0	0.6	0	8.7	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	9.5	16.5	-7	7.3	9.6	14.3	38.1	-8.4	1.5	42.7	135.8	175.3	175.3	0.487
$\sigma_6$	0	0.9	1.2	-6	0	5.9	7.8	9	-6.1	0	5.9	11.4	20.4	20.4	0.057
$\sigma_5$	0	0.4	0	1	0	0.5	0	0	0.8	0	5.6	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	8	14.5	-6.9	6.3	8.9	13.4	34.3	-7.8	1.3	33.5	119.8	155.4	155.4	0.438
$\sigma_3$	0	7.7	14.1	-6.8	6.1	8.8	13.3	33.5	-7.7	1.2	31.4	116.1	150.8	157.8	0.445
$\sigma_2$	0	0.9	1.2	-6	0	5.9	7.8	9	-6.1	0	5.9	11.4	20.4	66.5	0.187
$\sigma_1$	0	-12.5	-13.4	-4.5	-7	0.2	1.5	-18.8	0.3	-1.4	-97.5	-107.9	-128.1	136.9	0.386
$\sigma_0$	0	-13	-14.2	-4.4	-7.3	0	1.2	-20.2	0.5	-1.5	-101.1	-114	-135.7	135.7	0.382
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.2	0.2		
$\tau_3$	11.9	1.7	1.6	0	0	0	0	13.4	0	0	15.8	13.4	26.8		
$\tau_2$	18	1.9	1.9	0	0	0	0	19.9	0	0	16.2	16.6	36.6		
$\tau_1$	14.1	1.3	1.4	0	0	0	0	15.5	0	0	10.7	12.5	28		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.487 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.17 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.96 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 11.43 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 8.34 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**SLS stresses verification (Mmin comb.)**

**Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.88E+5	0E+00	0E+00
2a	0E+00	2.12E+4	1.55E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

3a	0E+00	0E+00	-1.5E+4	0E+00
Therm.Iso	3.58E+5	0	9.33E+4	0
3b	0E+00	9.25E+4	6.37E+5	0E+00
Total	3.58E+5	3.01E+5	8.71E+5	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0.6	0	0	0	0	0	0	-0.6	0	3.9	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	8.5	15.3	0	0	0	0	15.3	8.4	-1.5	18.6	62.8	76.6	76.6	0.213
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	0	0	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0.4	0	0	0	0	0	0	-0.8	0	2.3	0	0	0	0
$\sigma_4$	0	7.1	13.3	0	0	0	0	13.3	7.8	-1.3	14	54.7	66.7	66.7	0.188
$\sigma_3$	0	6.8	12.9	0	0	0	0	12.9	7.7	-1.2	12.9	52.8	64.5	73.4	0.207
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	0	0	0	0	49.1	0.138
$\sigma_1$	0	-13.4	-14.6	0	0	0	0	-14.6	-0.3	1.4	-52.2	-60.2	-73.4	82.6	0.233
$\sigma_0$	0	-14	-15.4	0	0	0	0	-15.4	-0.5	1.5	-54	-63.3	-77.2	77.2	0.217
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.1		
$\tau_3$	11.9	1.7	1.6	0	0	0	0	13.4	0	0	8	6.8	20.2		
$\tau_2$	18	1.9	1.9	0	0	0	0	19.9	0	0	8.2	8.4	28.4		
$\tau_1$	14.1	1.3	1.4	0	0	0	0	15.5	0	0	5.4	6.3	21.8		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.233 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0.55 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0.39 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 3.82 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.92 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.88E+5	0E+00	0E+00
2a	3.75E+4	2.12E+4	1.55E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-9.19E+4	0
2c	1.96E+5	0E+00	5.5E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	1.25E+4	0E+00
Therm.Iso	-2.99E+5	0	-7.77E+4	0
3b	1.52E+5	1.03E+5	7.12E+5	0E+00
Total	-1.53E+5	3.12E+5	8.39E+5	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0.6	0	1	0	0.5	0	0	0.5	0	4.8	0	0
$\sigma_7$	0	9.5	16.5	-7	7.3	8	11.9	35.7	-7	1.2	23.4	75.2	112.1
$\sigma_6$	0	0.9	1.2	-6	0	4.9	6.5	7.7	-5.1	0	2.6	5	12.8
$\sigma_5$	0	0.4	0	1	0	0.4	0	0	0.7	0	3	0	0
$\sigma_4$	0	8	14.5	-6.9	6.3	7.4	11.2	32.1	-6.5	1.1	18.2	66.2	99.4

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_3$	0	7.7	14.1	-6.8	6.1	7.3	11	31.3	-6.4	1	17	64.1	96.4
$\sigma_2$	0	0.9	1.2	-6	0	4.9	6.5	7.7	-5.1	0	2.6	5	12.8
$\sigma_1$	0	-12.5	-13.4	-4.5	-7	0.2	1.3	-19.1	0.2	-1.2	-55.8	-62.3	-82.5
$\sigma_0$	0	-13	-14.2	-4.4	-7.3	0	1	-20.5	0.4	-1.2	-57.8	-65.7	-87.4

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.08 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.88 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 7.35 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 5.57 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	942.1
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	96.41
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-82.5
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	82.5
$K_{\sigma}$	28.12
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	30.83
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	24.31
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	866.85
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2.88
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	866.85
$K_{\tau}$	5.73
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.179
Result	CHECK VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.88E+5	0E+00	0E+00
2a	0E+00	2.12E+4	1.55E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-1.25E+4	0E+00
Therm.Iso	2.99E+5	0	7.77E+4	0
3b	0E+00	1.03E+5	7.12E+5	0E+00
Total	2.99E+5	3.12E+5	9.33E+5	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0.6	0	0	0	0	0	0	-0.5	0	4.3	0	0
$\sigma_7$	0	8.5	15.3	0	0	0	0	15.3	7	-1.2	20.8	70.2	84.2
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	0	0	0	0
$\sigma_5$	0	0.4	0	0	0	0	0	0	-0.7	0	2.6	0	0
$\sigma_4$	0	7.1	13.3	0	0	0	0	13.3	6.5	-1.1	15.6	61.2	73.4
$\sigma_3$	0	6.8	12.9	0	0	0	0	12.9	6.4	-1	14.4	59.1	70.9

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	0	0	0	0
$\sigma_1$	0	-13.4	-14.6	0	0	0	0	-14.6	-0.2	1.2	-58.3	-67.3	-80.7
$\sigma_0$	0	-14	-15.4	0	0	0	0	-15.4	-0.4	1.2	-60.3	-70.8	-84.9

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0.55 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0.39 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.38 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.33 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	942.1
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	70.9
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-80.74
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	80.74
$K_{\sigma}$	20.87
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	30.83
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	24.31
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	643.48
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	2.88
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	643.48
$K_{\tau}$	5.73
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.197
Result	CHECK VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	15
Stud diameter, d (mm)	16
Stud height, h (mm)	75
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35220
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	40

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	57905.84
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	70494.54
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	57905.84

### Elastic assessment at ULS

#### Utilization ratio (Mmax comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	868.6
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	262.2
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0.302
<b>CHECK VERIFIED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	2.869E+4	5.234E+6	6.988E+9	21.5
Phase 2b	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 2c	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.476E+6	8.913E+9	0
Phase 3b	2.531E+5	8.476E+6	8.913E+9	240.7
Sum				262.2

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	868.6
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	133.8
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.154
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	2.869E+4	5.234E+6	6.988E+9	21.5
Phase 2b	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 2c	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.476E+6	8.913E+9	0
Phase 3b	1.181E+5	8.476E+6	8.913E+9	112.3
Sum				133.8

Elastic assessment at ELS

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	521.2
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	189.5
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.364
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	2.125E+4	5.234E+6	6.988E+9	15.9
Phase 2b	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 2c	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.476E+6	8.913E+9	0
Phase 3b	1.825E+5	8.476E+6	8.913E+9	173.6
Sum				189.5

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	521.2
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	103.9
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.199
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	2.125E+4	5.234E+6	6.988E+9	15.9
Phase 2b	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 2c	0E+00	5.234E+6	6.988E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.476E+6	8.913E+9	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Phase 3b	9.25E+4	8.476E+6	8.913E+9	88
Sum				103.9

## Stiffeners checks

### Torsional buckling of vertical stiffeners

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$l_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	1.688E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	1.692E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c_\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 1.344E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 1.221E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 12 \text{ mm} \quad b_w = 307.9 \text{ mm} \quad A_{st} = 5944.8 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 30.7 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 942.101324173176 \text{ mm} \quad a/h_w = 3.184$$

### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

$$w = 0 < 3.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 0.1 < 322.7 \text{ N/mm}^2$$

CHECK PASSED

With:

$$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 0E+00 + 1.498E+4 = 1.498E+4 \text{ N}$$

$$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 0E+00 = 0E+00 \text{ N}$$

$$\sigma_m = 0.167 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr(C)} / \sigma_{cr(P)} = 2.88 / 1E+300 = 0 \Rightarrow 0.5$$

$$N_{Ed} = 4.709E+5 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.077$$

$$N_{cr,st} = 3.138E+7 \text{ N} \quad e_1 = 30.7 \text{ mm} \quad e_{\text{max}} = 125.3 \text{ mm} \quad w_0 = 3.14 \text{ mm}$$

$$\delta_m = 0$$

$$(I_{st \text{ min}} = 2.469E+4(\text{mm}^4) \quad u = 2.848$$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.6.2. Section Sez. 2a\_1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	950 mm
Top flange	400x15 mm
Bottom flange	350x25 mm
Web	12x942 mm, Skew: 15
Slab	1313x130 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 10 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 65 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 16 mm, height 75 mm, number 15/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	150x15 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	2.606E+4	3.605E+4	3.605E+4	3.605E+4	5.502E+4	2.657E+4
z <sub>G</sub> (mm)	429.506	591.875	591.875	591.875	737.73	440.868
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	3.91E+9	6.4E+9	6.4E+9	6.4E+9	8.652E+9	4.083E+9
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.104E+6	-1.081E+7	-1.081E+7	-1.081E+7	-1.173E+7	-9.262E+6
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.666E+6	-1.129E+7	-1.129E+7	-1.129E+7	-1.214E+7	-9.819E+6
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.735E+6	1.865E+7	1.865E+7	1.865E+7	4.386E+7	8.264E+6
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.512E+6	1.787E+7	1.787E+7	1.787E+7	4.076E+7	8.02E+6
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.787E+7	1.787E+7	1.787E+7	4.076E+7	8.02E+6
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.513E+7	1.513E+7	1.513E+7	3.12E+7	7.112E+6
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.311E+7	1.311E+7	1.311E+7	2.528E+7	6.389E+6
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.649E+6	5.07E+6	5.07E+6	5.07E+6	6.346E+6	3.748E+6
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.665E+6	7.066E+6	7.066E+6	7.066E+6	9.501E+6	4.823E+6
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.078E+6	6.334E+6	6.334E+6	6.334E+6	9.259E+6	3.306E+6
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.313E-10	4.231E+6	4.231E+6	4.231E+6	8.031E+6	2.96E+5
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	1.929E+6	1047.6	1080	1015.2
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	1.929E+6	982.4	1014.8	950
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Top reinforcing bars	2.018E+5	1015	1015.2	1014.8
Bottom reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Concrete haunch slab	0E+00	950	950	950
Top flange of steel beam	2.029E+6	942.5	950	935

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Web of steel beam	3.822E+6	480	935	25
Bottom flange of steel beam	2.958E+6	12.5	25	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-1.287E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	9.011E+6			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-9.046E+6			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	5.189E+6			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	12.91 9	0.814	1	0
Bottom flange	6.752	0.814	1	1

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	78.508	0.814	0.405	-1.188	2
Sagging bending moment (M-)	78.508	0.814	0.091	-0.277	1
Compression (N)	78.508	0.814	1	1	4

### Interaction diagrams

<i>Full composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	3.267E+3	393.34
-1.287E+3	3.612E+3	546.52
-2.574E+3	3.759E+3	699.71
-3.86E+3	3.71E+3	852.89
-5.147E+3	3.483E+3	937.21
-6.434E+3	3.224E+3	941.96
-7.721E+3	2.958E+3	946.72
-9.008E+3	2.683E+3	963.45
-1.029E+4	2.365E+3	1006.69
-1.158E+4	2.002E+3	1036.76
-1.287E+4	1.59E+3	1080
0E+00	-4.78E+3	852.51
-1.287E+3	-4.829E+3	699.33
-2.574E+3	-4.681E+3	546.14
-3.86E+3	-4.336E+3	392.96
-5.147E+3	-3.793E+3	239.78
-6.434E+3	-3.054E+3	86.59
-7.721E+3	-2.152E+3	21.75
-9.008E+3	-1.227E+3	16.31
-1.029E+4	-2.949E+2	10.87
-1.158E+4	6.439E+2	5.44
-1.287E+4	1.59E+3	0
0E+00	3.267E+3	393.34
9.011E+2	2.909E+3	286.07
1.802E+3	2.453E+3	178.81
2.703E+3	1.901E+3	71.54
3.604E+3	1.268E+3	22.84
4.505E+3	6.217E+2	19.04
5.407E+3	-2.764E+1	15.23
6.308E+3	-6.804E+2	11.42
7.209E+3	-1.337E+3	7.61
8.11E+3	-1.996E+3	3.81
9.011E+3	-2.659E+3	0
0E+00	-4.78E+3	852.51

<i>Web less composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	2.097E+3	21.92
-9.046E+2	2.582E+3	935.65
-1.809E+3	2.401E+3	939
-2.714E+3	2.218E+3	942.34
-3.618E+3	2.031E+3	945.69
-4.523E+3	1.842E+3	949.03
-5.428E+3	1.643E+3	971.59
-6.332E+3	1.417E+3	1001.98
-7.237E+3	1.169E+3	1019.21
-8.141E+3	9.005E+2	1049.61
-9.046E+3	6.046E+2	1080
0E+00	-3.051E+3	946.57
-9.046E+2	-3.238E+3	943.23
-1.809E+3	-3.423E+3	939.88
-2.714E+3	-3.604E+3	936.54
-3.618E+3	-3.337E+3	22.93
-4.523E+3	-2.689E+3	19.11
-5.428E+3	-2.037E+3	15.29
-6.332E+3	-1.382E+3	11.47
-7.237E+3	-7.232E+2	7.64
-8.141E+3	-6.099E+1	3.82
-9.046E+3	6.046E+2	0
0E+00	2.097E+3	21.92
5.189E+2	1.725E+3	19.73
1.038E+3	1.352E+3	17.54
1.557E+3	9.775E+2	15.35
2.075E+3	6.021E+2	13.15
2.594E+3	2.256E+2	10.96
3.113E+3	-1.521E+2	8.77
3.632E+3	-5.309E+2	6.58
4.151E+3	-9.108E+2	4.38
4.67E+3	-1.292E+3	2.19
5.189E+3	-1.674E+3	0
0E+00	-3.051E+3	946.57

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

9.011E+2	-4.63E+3	935.77
1.802E+3	-4.45E+3	939.1
2.703E+3	-4.267E+3	942.43
3.604E+3	-4.081E+3	945.76
4.505E+3	-3.892E+3	949.1
5.407E+3	-3.694E+3	972.06
6.308E+3	-3.469E+3	1002.33
7.209E+3	-3.222E+3	1019.45
8.11E+3	-2.954E+3	1049.72
9.011E+3	-2.659E+3	1080

5.189E+2	-2.942E+3	948.49
1.038E+3	-2.832E+3	953.69
1.557E+3	-2.715E+3	971.13
2.075E+3	-2.59E+3	988.56
2.594E+3	-2.455E+3	1005.99
3.113E+3	-2.312E+3	1015.05
3.632E+3	-2.166E+3	1027.7
4.151E+3	-2.011E+3	1045.13
4.67E+3	-1.847E+3	1062.57
5.189E+3	-1.674E+3	1080

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.5E+5	-1.81E+6	0E+00
2a	5.06E+4	1.69E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.85E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.87E+5	0	-1.21E+5	0
2c	3.52E+5	0E+00	9.9E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	-5.38E+5	0	-1.49E+5	0
3b	3.79E+5	7.09E+4	0E+00	0E+00
Total	-4.26E+4	2.38E+5	-1.79E+6	0E+00

#### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	78.51	847.44	0.1	-1.11	1
Top flange	12.92				4
Bottom flange	6.75				1
Section class					4

Plastic analysis: NOT APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.785E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.287E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-4.78E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.785E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-4.784E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.003	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.373	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.373

NOT RELEVANT CHECK

#### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0.1	0	1.1	0	1	0	0	1.3	0	1.1	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	1.4	1.9	-10.1	12.4	16.3	27.2	41.5	-11	15.5	6.9	14.3	71.3	0.182
σ <sub>6</sub>	0	1.4	1.9	-8	0	9.8	13.3	15.2	-9.8	0	6.9	14.3	29.4	0.075
σ <sub>5</sub>	0	0.1	0	1.1	0	0.9	0	0	1.4	0	1.1	0	0	0
σ <sub>4</sub>	-241.3	1.4	1.9	-9.8	11	15.3	25.6	-202.7	-10.7	13.7	6.9	14.3	-174.7	0.517
σ <sub>3</sub>	-234.3	1.4	1.9	-9.7	10.7	15.1	25.2	-196.5	-10.7	13.3	6.9	14.3	-168.8	0.499
σ <sub>2</sub>	0	1.4	1.9	-8	0	9.8	13.3	15.2	-9.8	0	6.9	14.3	29.4	0.087
σ <sub>1</sub>	187.5	1.4	1.9	-5	-9	1	3.2	183.6	-6.6	-11.2	6.9	14.3	186.6	0.552

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_0$	199.1	1.4	1.9	-4.9	-9.6	0.6	2.6	194	-6.5	-11.9	6.9	14.3	196.4	0.581
------------	-------	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	------	-------	-----	------	-------	-------

Maximum utilization ratio:0.581 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.14 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.06 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.55 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.58 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Axial force and bending moment - effective cross section calculation

#### Effective area for shear lag and/or buckling of flanges(Mmax comb.)

Component	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> )
Top left flange	200	15	0.88	0.894	2680.9	1	2680.9
Top right flange	200	15	0.88	0.894	2680.9	1	2680.9
Bottom left flange	175	25	---	---	---	1	4375
Bottom right flange	175	25	---	---	---	1	4375

#### Local buckling of web panels (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	942.1
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	30.83
$\sigma_{top}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-181.46
$\sigma_{bot}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	188.38
$\psi$	-1.04
$K_\sigma$	24.84
$\lambda_p$	0.68
$b_c$ (mm)	462.24
$b_{c,top}$ (mm)	184.9
$b_{c,top}$ (mm)	277.34
$\rho_{loc}$	1
$b_{ceff}$ (mm)	462.24
$b_{ceff,top}$ (mm)	184.9
$b_{ceff,top}$ (mm)	277.34
$\phi_{Hole}$ (mm)	0

#### Compressed web features, without ribs (Mmax comb.)

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_c$ Top Edge	2.219E+3	858.3	6.321E+6
$A_c$ 1	0E+00	0	0E+00
$A_c$ 2	0E+00	0	0E+00
$A_c$ Bottom Edge	3.328E+3	627.2	2.133E+7
$A_c$ tot	5.547E+3	719.6	9.876E+7
$A_c$	0E+00		

#### Compressed web features, reduced for local buckling (Mmax comb.)

	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$z_G$ (mm)	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )
$A_{c,eff}$ Top Edge	2.219E+3	858.3	6.321E+6
$A_{c,eff}$ 1	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff}$ 2	0E+00	0	0E+00
$A_{c,eff}$ Bottom Edge	3.328E+3	627.2	2.133E+7
$A_{c,eff}$ tot	5.547E+3	719.6	9.876E+7
$A_{c,eff,loc}$	0E+00		

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Partial factor for global buckling (Mmax comb.)**

	Plate		Column
$\sigma_{cr,p}(\rho)$	765.75	$\sigma_{cr,c}(c)$	1
$\beta_{ac}(\rho)$	1	$\beta_{ac}(c)$	11.105
$\lambda_p$	0.681	$\lambda_c$	1
$\rho_p$	1	$\chi_c$	

**Web reduced for local and global buckling (Mmax comb.)**

	A(mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
Top Edge	2.219E+3	858.3	6.321E+6
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Bottom Edge	3.328E+3	627.2	2.133E+7
Total	5.547E+3	719.6	9.876E+7

**Total reduction to apply to the section (Mmax comb.)**

	$\Delta A$ (mm <sup>2</sup> )	z <sub>G</sub> (mm)	$\Delta J_y$ (mm <sup>4</sup> )
Web	0E+00	0	0E+00
Top flange	-6.383E+2	942.5	-1.197E+4
Bottom flange	0E+00	0	0E+00

**Geometric features of effective cross section (Mmax comb.)**

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	2.542E+4	3.542E+4	5.438E+4	3.542E+4	5.438E+4	2.593E+4
z <sub>G</sub> (mm)	416.624	585.556	735.327	585.556	735.327	428.521
$\Delta z_{Geff}$ (mm)	12.88	6.32	2.4	6.32	2.4	12.35
J <sub>y,eff</sub> (mm <sup>4</sup> )	3.738E+9	6.321E+9	8.625E+9	6.321E+9	8.625E+9	3.919E+9
W <sub>y,0eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-8.972E+6	-1.079E+7	-1.173E+7	-1.079E+7	-1.173E+7	-9.145E+6
W <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.545E+6	-1.128E+7	-1.214E+7	-1.128E+7	-1.214E+7	-9.712E+6
W <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.211E+6	1.809E+7	4.32E+7	1.809E+7	4.32E+7	7.737E+6
W <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.008E+6	1.734E+7	4.018E+7	1.734E+7	4.018E+7	7.515E+6
W <sub>y,5eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.734E+7	4.018E+7	1.734E+7	4.018E+7	7.515E+6
W <sub>y,6eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.472E+7	3.084E+7	1.472E+7	3.084E+7	6.682E+6
W <sub>y,8eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.278E+7	2.502E+7	1.278E+7	2.502E+7	6.015E+6
S <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.536E+6	5.014E+6	6.325E+6	5.014E+6	6.325E+6	3.64E+6
S <sub>y,2eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.489E+6	6.966E+6	9.459E+6	6.966E+6	9.459E+6	4.652E+6
S <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.82E+6	6.208E+6	9.211E+6	6.208E+6	9.211E+6	3.058E+6
S <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.021E-292	4.294E+6	8.1E+6	4.294E+6	8.1E+6	3.024E+5

The effective geometric characteristics have been calculated in 0 iterations, with the following percentage variations of the factor  $\psi$

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

**Additional bending moment for neutral axis shift(Mmax comb.)**

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3a	Phase 3b
$\Delta M_{Cracked}$ (kNm)	0E+00	6.251E+2	0E+00	4.348E+3	0E+00	4.681E+3
$\Delta M_{Uncracked}$ (kNm)	0E+00	3.199E+2	-1.812E+3	2.225E+3	-1.292E+3	9.112E+2

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\eta_1$
--	-------	---------------------	-------------------	---------------------	-------------------	---------------------	-------------------	--------------	---------------------	-------------------	---------------------	-------------------	--------------	----------

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_8$	0	0.1	0	1.1	0	1	0	0	1.2	0	1.2	0	0	0
$\sigma_7$	0	1.5	2	-10.5	13.2	16.8	29	44.3	-11.2	16.5	7	15.3	76.2	0.195
$\sigma_6$	0	1.4	2	-8.1	0	9.9	13.6	15.5	-9.9	0	7	14.6	30.2	0.077
$\sigma_5$	0	0.1	0	1.1	0	0.9	0	0	1.3	0	1.2	0	0	0
$\sigma_4$	-258.6	1.4	2	-10.1	11.8	15.8	27.3	-217.5	-10.9	14.7	7	15.2	-187.6	0.555
$\sigma_3$	-251.3	1.4	2	-10	11.4	15.5	26.9	-210.9	-10.8	14.2	7	15.2	-181.5	0.537
$\sigma_2$	0	1.4	2	-8.1	0	9.9	13.6	15.5	-9.9	0	7	14.6	30.2	0.089
$\sigma_1$	189.9	1.4	1.9	-5	-9.1	1	2.9	185.6	-6.6	-11.4	6.9	14.1	188.4	0.557
$\sigma_0$	202	1.4	1.9	-4.9	-9.7	0.6	2.3	196.5	-6.5	-12.1	6.9	14.1	198.5	0.587

Maximum utilization ratio:0.587 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.15 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.08 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.56 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.58 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w=78.508 > 31/\eta * \epsilon_w *(K_\tau)^{0.5}=50.332 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = 1.677E+6 \text{ N}$

With:

$$a/h_w=3.184, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 5.734$$

$$\text{web contribution: } V_{bw,Rd} = 1.623E+6 \text{ N, flanges contribution: } V_{bf,Rd} = 5.39E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.771, \quad \lambda_w = 1.077, \quad \tau_{cr} = 176.8, \quad C = 848.6$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = -1.816E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = -3.06E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.593$$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = 2.648E+6 \text{ N}$

Shear resistance:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.677E+6 \text{ N}$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.147, \quad (=> \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.152, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.587$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.5E+5	-1.81E+6	0E+00
2a	0E+00	1.69E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	5.38E+5	0	1.49E+5	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

3b	0E+00	7.09E+4	0E+00	0E+00
Total	5.38E+5	2.38E+5	-1.77E+6	0E+00

*Bending resistance - Plastic analysis*

**Section classification (Mmin comb.)**

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	78.51	916.52	0.02	-0.87	1
Top flange	12.92				4
Bottom flange	6.75				1
Section class					4
Plastic analysis: NOT APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.774E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5
N <sub>Rd</sub> (N)	9.011E+6	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-4.78E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.774E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-4.701E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.06	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.371	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.377
NOT RELEVANT CHECK					

*Axial force and bending moment stresses of gross cross section*

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.3	0	0	0	-1.3	0.056
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	11	-15.5	0	0	11	0.028
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.8	0	0	0	9.8	0.025
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.4	0	0	0	-1.4	0.06
σ <sub>4</sub>	-241.3	0	0	0	0	0	0	-241.3	10.7	-13.7	0	0	-230.5	0.682
σ <sub>3</sub>	-234.3	0	0	0	0	0	0	-234.3	10.7	-13.3	0	0	-223.6	0.661
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.8	0	0	0	9.8	0.029
σ <sub>1</sub>	187.5	0	0	0	0	0	0	187.5	6.6	11.2	0	0	194.1	0.574
σ <sub>0</sub>	199.1	0	0	0	0	0	0	199.1	6.5	11.9	0	0	205.5	0.608

Maximum utilization ratio:0.682 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -1.27 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -1.36 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

*Axial force and bending moment - effective cross section calculation*

**Effective area for shear lag and/or buckling of flanges(Mmin comb.)**

Component	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> )
Top left flange	200	15	0.88	0.894	2680.9	1	2680.9
Top right flange	200	15	0.88	0.894	2680.9	1	2680.9
Bottom left flange	175	25	---	---	---	1	4375
Bottom right flange	175	25	---	---	---	1	4375

**Local buckling of web panels (Mmin comb.)**



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

	<i>Web</i>
b (mm)	942.1
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	30.83
$\sigma_{top}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-240.53
$\sigma_{bot}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	196.47
$\psi$	-0.82
$K_{\sigma}$	19.47
$\lambda_p$	0.77
b <sub>c</sub> (mm)	518.54
b <sub>c top</sub> (mm)	207.42
b <sub>c top</sub> (mm)	311.13
$\rho_{loc}$	1
b <sub>ceff</sub> (mm)	518.54
b <sub>ceff top</sub> (mm)	207.42
b <sub>ceff top</sub> (mm)	311.13
$\phi_{Hole}$ (mm)	0

### Compressed web features, without ribs (Mmin comb.)

	$A(mm^2)$	$z_G(mm)$	$J_y(mm^4)$
A <sub>c Top Edge</sub>	2.489E+3	849	8.924E+6
A <sub>c 1</sub>	0E+00	0	0E+00
A <sub>c 2</sub>	0E+00	0	0E+00
A <sub>c Bottom Edge</sub>	3.734E+3	589.7	3.012E+7
A <sub>c tot</sub>	6.223E+3	693.4	1.394E+8
A <sub>c</sub>	0E+00		

### Compressed web features, reduced for local buckling (Mmin comb.)

	$A(mm^2)$	$z_G(mm)$	$J_y(mm^4)$
A <sub>c,eff Top Edge</sub>	2.489E+3	849	8.924E+6
A <sub>c,eff 1</sub>	0E+00	0	0E+00
A <sub>c,eff 2</sub>	0E+00	0	0E+00
A <sub>c,eff Bottom Edge</sub>	3.734E+3	589.7	3.012E+7
A <sub>c,eff tot</sub>	6.223E+3	693.4	1.394E+8
A <sub>c,eff,loc</sub>	0E+00		

### Partial factor for global buckling (Mmin comb.)

	<i>Plate</i>		<i>Column</i>
$\sigma_{cr,p}$ (p)	600.28	$\sigma_{cr,c}$ (c)	1
$\beta_{ac}$ (p)	1	$\beta_{ac}$ (c)	11.105
$\lambda_p$	0.769	$\lambda_c$	1
$\rho_p$	1	$\chi_c$	

### Web reduced for local and global buckling (Mmin comb.)

	$A(mm^2)$	$z_G(mm)$	$J_y(mm^4)$
Top Edge	2.489E+3	849	8.924E+6
1	0E+00	0	0E+00
2	0E+00	0	0E+00
Bottom Edge	3.734E+3	589.7	3.012E+7
Total	6.223E+3	693.4	1.394E+8

### Total reduction to apply to the section (Mmin comb.)

	$\Delta A(mm^2)$	$z_G(mm)$	$\Delta J_y(mm^4)$
Web	0E+00	0	0E+00
Top flange	-6.383E+2	942.5	-1.197E+4
Bottom flange	0E+00	0	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Geometric features of effective cross section (Mmin comb.)**

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	2.542E+4	3.542E+4	5.438E+4	3.542E+4	5.438E+4	2.593E+4
z <sub>G</sub> (mm)	416.624	585.556	735.327	585.556	735.327	428.521
Δ z <sub>Geff</sub> (mm)	12.88	6.32	2.4	6.32	2.4	12.35
J <sub>y,eff</sub> (mm <sup>4</sup> )	3.738E+9	6.321E+9	8.625E+9	6.321E+9	8.625E+9	3.919E+9
W <sub>y,0eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-8.972E+6	-1.079E+7	-1.173E+7	-1.079E+7	-1.173E+7	-9.145E+6
W <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.545E+6	-1.128E+7	-1.214E+7	-1.128E+7	-1.214E+7	-9.712E+6
W <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.211E+6	1.809E+7	4.32E+7	1.809E+7	4.32E+7	7.737E+6
W <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	7.008E+6	1.734E+7	4.018E+7	1.734E+7	4.018E+7	7.515E+6
W <sub>y,5eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.734E+7	4.018E+7	1.734E+7	4.018E+7	7.515E+6
W <sub>y,6eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.472E+7	3.084E+7	1.472E+7	3.084E+7	6.682E+6
W <sub>y,8eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.278E+7	2.502E+7	1.278E+7	2.502E+7	6.015E+6
S <sub>y,1eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	3.536E+6	5.014E+6	6.325E+6	5.014E+6	6.325E+6	3.64E+6
S <sub>y,2eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.489E+6	6.966E+6	9.459E+6	6.966E+6	9.459E+6	4.652E+6
S <sub>y,3eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	2.82E+6	6.208E+6	9.211E+6	6.208E+6	9.211E+6	3.058E+6
S <sub>y,4eff</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.021E-292	4.294E+6	8.1E+6	4.294E+6	8.1E+6	3.024E+5

The effective geometric characteristics have been calculated in 0 iterations, with the following percentage variations of the factor  $\psi$

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

**Additional bending moment for neutral axis shift(Mmin comb.)**

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3a	Phase 3b
ΔM <sub>Cracked</sub> (kNm)	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
ΔM <sub>Uncracked</sub> (kNm)	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00	1.292E+3	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.2	0	0	0	-1.2	0.054
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	11.2	-16.5	0	0	11.2	0.029
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.9	0	0	0	9.9	0.025
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.3	0	0	0	-1.3	0.059
σ <sub>4</sub>	-258.6	0	0	0	0	0	0	-258.6	10.9	-14.7	0	0	-247.7	0.733
σ <sub>3</sub>	-251.3	0	0	0	0	0	0	-251.3	10.8	-14.2	0	0	-240.5	0.711
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.9	0	0	0	9.9	0.029
σ <sub>1</sub>	189.9	0	0	0	0	0	0	189.9	6.6	11.4	0	0	196.5	0.581
σ <sub>0</sub>	202	0	0	0	0	0	0	202	6.5	12.1	0	0	208.5	0.617

Maximum utilization ratio:0.733 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -1.23 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -1.34 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

Resistance to shear

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 78.508 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 50.332 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  $V_{b,Rd} = 1.623E+6 \text{ N}$

With:

$$a/h_w = 3.184, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 5.734$$

web contribution:  $V_{bw,Rd} = 1.623E+6 \text{ N}$ , flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = 0E+00 \text{ N}$

$$\chi_w = 0.771, \quad \lambda_w = 1.077, \quad \tau_{cr} = 176.8, \quad C = 848.6$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = -9.953E+6 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = -2.938E+6 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = 3.388$$

Plastic resistance:  $V_{pl,Rd} = 2.648E+6 \text{ N}$

Shear resistance:  $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.623E+6 \text{ N}$

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.152, \quad (=> \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.152, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.733$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### SLS stresses verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00
2a	3.75E+4	1.25E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.01E+5	0
2c	2.35E+5	0E+00	6.6E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	-3.58E+5	0	-9.94E+4	0
3b	3.44E+5	5.55E+4	0E+00	0E+00
Total	1.87E+4	1.79E+5	-1.33E+6	0E+00

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0.1	0	0.9	0	0.6	0	0	0.8	0	1	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	1	1.4	-8.4	10.4	10.9	18.1	29.9	-7.3	10.3	6.3	12.9	53.2	53.2	0.148
$\sigma_6$	0	1	1.4	-6.6	0	6.5	8.8	10.2	-6.5	0	6.3	12.9	23.2	23.2	0.064
$\sigma_5$	0	0.1	0	0.9	0	0.6	0	0	0.9	0	1	0	0	0	0
$\sigma_4$	-178.7	1	1.4	-8.2	9.2	10.2	17.1	-151	-7.2	9.2	6.3	12.9	-128.9	128.9	0.363
$\sigma_3$	-173.6	1	1.4	-8.1	8.9	10	16.8	-146.4	-7.1	8.9	6.3	12.9	-124.6	126.1	0.355
$\sigma_2$	0	1	1.4	-6.6	0	6.5	8.8	10.2	-6.5	0	6.3	12.9	23.2	37.7	0.106
$\sigma_1$	138.9	1	1.4	-4.2	-7.5	0.7	2.1	134.9	-4.4	-7.5	6.3	12.9	140.4	142.3	0.401
$\sigma_0$	147.5	1	1.4	-4.1	-8	0.4	1.7	142.6	-4.3	-7.9	6.3	12.9	147.6	147.6	0.416
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0		
$\tau_3$	7	1	0.8	0	0	0	0	7.9	0	0	4.8	3.6	11.5		
$\tau_2$	10.7	1.1	1.2	0	0	0	0	11.9	0	0	4.9	5.3	17.1		
$\tau_1$	8.4	0.8	0.9	0	0	0	0	9.3	0	0	3.3	4.1	13.4		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Maximum utilization ratio:0.416 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.61 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.57 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 3.5 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 3.52 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### SLS stresses verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00
2a	0E+00	1.25E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	3.58E+5	0	9.94E+4	0
3b	0E+00	5.55E+4	0E+00	0E+00
Total	3.58E+5	1.79E+5	-1.32E+6	0E+00

#### Stresses of gross cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.8	0	0	0	-0.8	0.8	0.035
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	7.3	-10.3	0	0	7.3	7.3	0.02
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.5	0	0	0	6.5	6.5	0.018
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.9	0	0	0	-0.9	0.9	0.038
$\sigma_4$	-178.7	0	0	0	0	0	0	-178.7	7.2	-9.2	0	0	-171.6	171.6	0.483
$\sigma_3$	-173.6	0	0	0	0	0	0	-173.6	7.1	-8.9	0	0	-166.5	167.9	0.473
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.5	0	0	0	6.5	29.7	0.084
$\sigma_1$	138.9	0	0	0	0	0	0	138.9	4.4	7.5	0	0	143.3	144.9	0.408
$\sigma_0$	147.5	0	0	0	0	0	0	147.5	4.3	7.9	0	0	151.8	151.8	0.428
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1		
$\tau_3$	7	1	0.8	0	0	0	0	7.9	0	0	4.8	3.6	12.8		
$\tau_2$	10.7	1.1	1.2	0	0	0	0	11.9	0	0	4.9	5.3	16.7		
$\tau_1$	8.4	0.8	0.9	0	0	0	0	9.3	0	0	3.3	4.1	12.4		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.483 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.84 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.91 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

### SLS web breathing verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2a	3.75E+4	1.25E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.01E+5	0
2c	1.96E+5	0E+00	5.5E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	-2.99E+5	0	-8.28E+4	0
3b	1.52E+5	6.19E+4	0E+00	0E+00
Total	-1.53E+5	1.86E+5	-1.34E+6	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0	0	0.9	0	0.5	0	0	0.7	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0	0	-8.4	10.4	9.1	15.1	25.5	-6.1	8.6	0	0	34.1
$\sigma_6$	0	0	0	-6.6	0	5.4	7.4	7.4	-5.4	0	0	0	7.4
$\sigma_5$	0	0	0	0.9	0	0.5	0	0	0.8	0	0	0	0
$\sigma_4$	-178.7	0	0	-8.2	9.2	8.5	14.2	-155.3	-6	7.6	0	0	-147.7
$\sigma_3$	-173.6	0	0	-8.1	8.9	8.4	14	-150.6	-5.9	7.4	0	0	-143.2
$\sigma_2$	0	0	0	-6.6	0	5.4	7.4	7.4	-5.4	0	0	0	7.4
$\sigma_1$	138.9	0	0	-4.2	-7.5	0.6	1.8	133.1	-3.7	-6.2	0	0	126.9
$\sigma_0$	147.5	0	0	-4.1	-8	0.3	1.4	140.9	-3.6	-6.6	0	0	134.3

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.45 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.42 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.15 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.18 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**Web assessment (Mmax comb.)**

	Web
b (mm)	942.1
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-143.2
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	126.9
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	143.2
$K_\sigma$	21.06
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	30.83
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	14.5
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	649.3
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2.88
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	649.3
$K_\tau$	5.73
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.238
Result	CHECK VERIFIED

**SLS web breathing verification (Mmin comb.)**

**Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00
2a	0E+00	1.25E+4	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	2.99E+5	0	8.28E+4	0
3b	0E+00	6.19E+4	0E+00	0E+00
Total	2.99E+5	1.86E+5	-1.32E+6	0E+00

### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.7	0	0	0	-0.7
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	-8.6	0	0	6.1
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	0	0	0	5.4
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.8	0	0	0	-0.8
$\sigma_4$	-178.7	0	0	0	0	0	0	-178.7	6	-7.6	0	0	-172.7
$\sigma_3$	-173.6	0	0	0	0	0	0	-173.6	5.9	-7.4	0	0	-167.6
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	0	0	0	5.4
$\sigma_1$	138.9	0	0	0	0	0	0	138.9	3.7	6.2	0	0	142.5
$\sigma_0$	147.5	0	0	0	0	0	0	147.5	3.6	6.6	0	0	151.1

#### NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.7 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.76 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	Web
b (mm)	942.1
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-167.64
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	142.54
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	167.64
$K_{\sigma}$	20.23
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	30.83
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	14.48
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	623.58
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2.88
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	623.58
$K_{\tau}$	5.73
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.284
Result	CHECK VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	15
Stud diameter, d (mm)	16
Stud height, h (mm)	75
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_{tu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35220
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	40

**Resistance of headed stud connectors**

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_{tu} \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	57905.84
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	70494.54
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	57905.84

*Elastic assessment at ULS*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	868.6
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	78
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0.09
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4eff}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_{y,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.688E+4	4.294E+6	6.321E+9	11.5
Phase 2b	0E+00	4.294E+6	6.321E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.294E+6	6.321E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.1E+6	8.625E+9	0
Phase 3b	7.088E+4	8.1E+6	8.625E+9	66.6
Sum				78

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	868.6
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	78
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0.09
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4eff}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_{y,eff}$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.688E+4	4.294E+6	6.321E+9	11.5
Phase 2b	0E+00	4.294E+6	6.321E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.294E+6	6.321E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.1E+6	8.625E+9	0
Phase 3b	7.088E+4	8.1E+6	8.625E+9	66.6
Sum				78

*Elastic assessment at ELS*

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	521.2
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	59.8
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0.115
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.25E+4	4.231E+6	6.4E+9	8.3



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Phase 2b	0E+00	4.231E+6	6.4E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.231E+6	6.4E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.031E+6	8.652E+9	0
Phase 3b	5.55E+4	8.031E+6	8.652E+9	51.5
Sum				59.8

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	521.2
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	59.8
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.115
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed}$ (N)	$S_{y,4}$ (mm <sup>3</sup> )	$J_y$ (mm <sup>4</sup> )	$V_{Ed}$ (N/mm)
Phase 2a	1.25E+4	4.231E+6	6.4E+9	8.3
Phase 2b	0E+00	4.231E+6	6.4E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.231E+6	6.4E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.031E+6	8.652E+9	0
Phase 3b	5.55E+4	8.031E+6	8.652E+9	51.5
Sum				59.8

**Stiffeners checks**

*Torsional buckling of vertical stiffeners*

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$I_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	1.688E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	1.692E+7
$I_T/I_P$	0.01
$5.3 f_y/E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

*Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels*

$$I_{st} = 1.344E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 1.221E+6 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 12 \text{ mm} \quad b_w = 307.9 \text{ mm} \quad A_{st} = 5944.8 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 30.7 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 942.101324173176 \text{ mm} \quad a/h_w = 3.184$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

$$w = 0 < 3.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\max} = 0.1 < 322.7 \text{ N/mm}^2$$

CHECK PASSED

With:

$$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 0E+00 + 1.601E+4 = 1.601E+4 \text{ N}$$

$$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 0E+00 = 0E+00 \text{ N}$$

$$\sigma_m = 0.178 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr(C)} / \sigma_{cr(P)} = 2.88 / 765.75 = 0.004 \Rightarrow 0.5$$

$$N_{Ed} = 5.033E+5 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.077$$

$$N_{cr,st} = 3.138E+7 \text{ N} \quad e_1 = 30.7 \text{ mm} \quad e_{\max} = 125.3 \text{ mm} \quad w_0 = 3.14 \text{ mm}$$

$$\delta_m = 0$$

$$( I_{vstmin} = 2.639E+4(\text{mm}^4) \quad u = 2.848 )$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.6.3. Section Sez. 2b\_1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	950 mm
Top flange	400x20 mm
Bottom flange	350x35 mm
Web	10x927 mm, Skew: 15
Slab	1313x130 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 10 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 65 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 16 mm, height 75 mm, number 10/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	150x15 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	2.952E+4	3.951E+4	3.951E+4	3.951E+4	5.848E+4	3.003E+4
z <sub>G</sub> (mm)	413.511	565.708	565.708	565.708	711.418	423.838
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	4.803E+9	7.518E+9	7.518E+9	7.518E+9	1.013E+10	4.986E+9
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.161E+7	-1.329E+7	-1.329E+7	-1.329E+7	-1.424E+7	-1.176E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.269E+7	-1.417E+7	-1.417E+7	-1.417E+7	-1.498E+7	-1.282E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.299E+6	2.064E+7	2.064E+7	2.064E+7	4.635E+7	9.851E+6
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.952E+6	1.956E+7	1.956E+7	1.956E+7	4.247E+7	9.476E+6
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.956E+7	1.956E+7	1.956E+7	4.247E+7	9.476E+6
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.673E+7	1.673E+7	1.673E+7	3.337E+7	8.434E+6
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.462E+7	1.462E+7	1.462E+7	2.749E+7	7.599E+6
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.851E+6	6.716E+6	6.716E+6	6.716E+6	8.5E+6	4.978E+6
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.593E+6	8.173E+6	8.173E+6	8.173E+6	1.087E+7	5.76E+6
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.212E+6	7.487E+6	7.487E+6	7.487E+6	1.062E+7	4.434E+6
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.863E-9	4.492E+6	4.492E+6	4.492E+6	8.793E+6	3.048E+5
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	1.929E+6	1047.6	1080	1015.2
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	1.929E+6	982.4	1014.8	950
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Top reinforcing bars	2.018E+5	1015	1015.2	1014.8
Bottom reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Concrete haunch slab	0E+00	950	950	950

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Top flange of steel beam	2.705E+6	940	950	930
Web of steel beam	3.133E+6	482.5	930	35
Bottom flange of steel beam	4.142E+6	17.5	35	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-1.404E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	1.018E+7			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-1.091E+7			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	7.048E+6			

**Flanges classification**

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	9.741	0.814	1	0
Bottom flange	4.852	0.814	1	1

**Web classification**

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	92.657	0.814	0.303	-1.302	1
Sagging bending moment (M-)	92.657	0.814	0.081	-0.323	1
Compression (N)	92.657	0.814	1	1	4

**Interaction diagrams**

<i>Full composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	3.863E+3	306.06
-1.404E+3	4.291E+3	506.59
-2.808E+3	4.438E+3	707.13
-4.211E+3	4.303E+3	907.66
-5.615E+3	3.995E+3	934.61
-7.019E+3	3.678E+3	939.8
-8.423E+3	3.354E+3	944.99
-9.827E+3	3.022E+3	951.66
-1.123E+4	2.652E+3	998.83
-1.263E+4	2.225E+3	1032.83
-1.404E+4	1.741E+3	1080
0E+00	-5.535E+3	857.07
-1.404E+3	-5.598E+3	656.54
-2.808E+3	-5.381E+3	456
-4.211E+3	-4.881E+3	255.47
-5.615E+3	-4.1E+3	54.94
-7.019E+3	-3.149E+3	29.66
-8.423E+3	-2.188E+3	23.73
-9.827E+3	-1.218E+3	17.79
-1.123E+4	-2.402E+2	11.86
-1.263E+4	7.461E+2	5.93
-1.404E+4	1.741E+3	0
0E+00	3.863E+3	306.06
1.018E+3	3.376E+3	160.63
2.036E+3	2.743E+3	34.41
3.054E+3	2.051E+3	30.11
4.072E+3	1.355E+3	25.81
5.09E+3	6.551E+2	21.51
6.109E+3	-4.949E+1	17.21
7.127E+3	-7.584E+2	12.91
8.145E+3	-1.472E+3	8.6
9.163E+3	-2.19E+3	4.3
1.018E+4	-2.912E+3	0
0E+00	-5.535E+3	857.07

<i>Web less composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	2.715E+3	29.78
-1.091E+3	3.456E+3	34.39
-2.181E+3	3.345E+3	933.5
-3.272E+3	3.101E+3	937.53
-4.362E+3	2.852E+3	941.56
-5.453E+3	2.599E+3	945.59
-6.543E+3	2.341E+3	949.63
-7.634E+3	2.065E+3	983.24
-8.724E+3	1.748E+3	1014.95
-9.815E+3	1.405E+3	1043.36
-1.091E+4	1.023E+3	1080
0E+00	-4.139E+3	939.69
-1.091E+3	-4.385E+3	935.66
-2.181E+3	-4.628E+3	931.63
-3.272E+3	-4.284E+3	32.26
-4.362E+3	-3.541E+3	27.65
-5.453E+3	-2.793E+3	23.04
-6.543E+3	-2.04E+3	18.43
-7.634E+3	-1.281E+3	13.82
-8.724E+3	-5.182E+2	9.22
-9.815E+3	2.501E+2	4.61
-1.091E+4	1.023E+3	0
0E+00	2.715E+3	29.78
7.048E+2	2.233E+3	26.8
1.41E+3	1.75E+3	23.82
2.114E+3	1.264E+3	20.85
2.819E+3	7.763E+2	17.87
3.524E+3	2.864E+2	14.89
4.229E+3	-2.056E+2	11.91
4.934E+3	-6.996E+2	8.93
5.639E+3	-1.196E+3	5.96
6.343E+3	-1.694E+3	2.98
7.048E+3	-2.194E+3	0
0E+00	-4.139E+3	939.69

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

1.018E+3	-5.33E+3	931.88
2.036E+3	-5.104E+3	935.64
3.054E+3	-4.874E+3	939.4
4.072E+3	-4.64E+3	943.17
5.09E+3	-4.402E+3	946.93
6.109E+3	-4.16E+3	956.33
7.127E+3	-3.893E+3	990.54
8.145E+3	-3.593E+3	1015.09
9.163E+3	-3.269E+3	1045.79
1.018E+4	-2.912E+3	1080

7.048E+2	-3.977E+3	942.3
1.41E+3	-3.813E+3	944.91
2.114E+3	-3.648E+3	947.51
2.819E+3	-3.48E+3	951.07
3.524E+3	-3.303E+3	974.75
4.229E+3	-3.109E+3	998.44
4.934E+3	-2.899E+3	1015.02
5.639E+3	-2.681E+3	1032.64
6.343E+3	-2.446E+3	1056.32
7.048E+3	-2.194E+3	1080

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.5E+5	-1.81E+6	0E+00
2a	5.06E+4	1.69E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.85E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.87E+5	0	-1.29E+5	0
2c	3.52E+5	0E+00	9.9E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	-5.38E+5	0	-1.63E+5	0
3b	3.79E+5	7.09E+4	0E+00	0E+00
Total	-4.26E+4	2.38E+5	-1.81E+6	0E+00

#### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	92.66	850.99	0.09	-1.05	1
Top flange	9.74				3
Bottom flange	4.85				1
Section class					3

Plastic analysis: NOT APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.807E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.404E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.535E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.807E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.541E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.003	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.326	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.326

NOT RELEVANT CHECK

#### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0.1	0	1.1	0	0.9	0	0	1.3	0	1.1	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	1.3	1.7	-9.7	10.5	14.8	23.5	35.6	-10.8	13.1	6.5	12.6	61.3	0.157
σ <sub>6</sub>	0	1.3	1.7	-7.3	0	8.9	11.7	13.4	-9.2	0	6.5	12.6	26	0.067
σ <sub>5</sub>	0	0.1	0	1.2	0	0.8	0	0	1.4	0	1.1	0	0	0
σ <sub>4</sub>	-202.5	1.3	1.7	-9.3	9.3	14	22.2	-169.3	-10.4	11.6	6.5	12.6	-145	0.429
σ <sub>3</sub>	-194.9	1.3	1.7	-9.2	9	13.7	21.8	-162.5	-10.3	11.2	6.5	12.6	-138.6	0.41
σ <sub>2</sub>	0	1.3	1.7	-7.3	0	8.9	11.7	13.4	-9.2	0	6.5	12.6	26	0.077
σ <sub>1</sub>	142.8	1.3	1.7	-4.4	-6.9	1.9	4	141.6	-5.7	-8.6	6.5	12.6	145.7	0.431

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_0$	156	1.3	1.7	-4.2	-7.5	1.5	3.3	153.5	-5.5	-9.4	6.5	12.6	156.8	0.464
------------	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	-------	------	------	-----	------	-------	-------

Maximum utilization ratio:0.464 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.07 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 2.01 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.44 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 4.5 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w=92.657 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=50.276 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  **$V_{b,Rd}=1.238E+6$  N**

With:

$$a/h_w=3.238, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=5.722$$

$$\text{web contribution: } V_{bw,Rd}=1.126E+6 \text{ N, flanges contribution: } V_{bf,Rd}=1.122E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.652, \quad \lambda_w=1.273, \quad \tau_{cr}=126.6, \quad C=989.7$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=-1.844E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-4.148E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.445$$

Plastic resistance:  **$V_{pl,Rd}=2.17E+6$  N**

Shear resistance:  **$V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=1.238E+6$  N**

Utilization ratios:

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.199, \quad (=> \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.219, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.464$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	$N$ (N)	$V$ (N)	$M$ (Nm)	$T$ (Nm)
1	0E+00	1.5E+5	-1.81E+6	0E+00
2a	0E+00	1.69E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	5.38E+5	0	1.63E+5	0
3b	0E+00	7.09E+4	0E+00	0E+00
Total	5.38E+5	2.38E+5	-1.76E+6	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmin comb.)

	$c/t$	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
Web	92.66	930.1	0	-0.8	1
Top flange	9.74				3

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bottom flange	4.85				1
Section class					3
Plastic analysis: NOT APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.759E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5
N <sub>Rd</sub> (N)	1.018E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.535E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-1.759E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.436E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.053	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.318	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.324
NOT RELEVANT CHECK					

*Axial force and bending moment stresses of gross cross section*

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.3	0	0	0	-1.3	0.057
σ <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	10.8	-13.1	0	0	10.8	0.028
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0	0	0	9.2	0.023
σ <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.4	0	0	0	-1.4	0.062
σ <sub>4</sub>	-202.5	0	0	0	0	0	0	-202.5	10.4	-11.6	0	0	-192	0.568
σ <sub>3</sub>	-194.9	0	0	0	0	0	0	-194.9	10.3	-11.2	0	0	-184.6	0.546
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0	0	0	9.2	0.027
σ <sub>1</sub>	142.8	0	0	0	0	0	0	142.8	5.7	8.6	0	0	148.5	0.439
σ <sub>0</sub>	156	0	0	0	0	0	0	156	5.5	9.4	0	0	161.5	0.478

Maximum utilization ratio:0.568 CHECK PASSED

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -1.3 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -1.41 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

**Resistance to shear**

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w=92.657 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=50.276 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub>=1.126E+6 N**

With:

$$a/h_w=3.238, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=5.722$$

$$\text{web contribution: } V_{bw,Rd}=1.126E+6 \text{ N, flanges contribution: } V_{bf,Rd}=0E+00 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.652, \quad \lambda_w=1.273, \quad \tau_{cr}=126.6, \quad C=989.7$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=-8.154E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-4.015E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=2.031$$

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub>=2.17E+6 N**

Shear resistance: **V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>)=1.126E+6 N**

Utilization ratios:

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.219, \quad (= > \text{ CHECK VERIFIED } )$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.219, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.568$$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

**SLS stresses verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00
2a	3.75E+4	1.25E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.07E+5	0
2c	2.35E+5	0E+00	6.6E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	-3.58E+5	0	-1.09E+5	0
3b	3.44E+5	5.55E+4	0E+00	0E+00
Total	1.87E+4	1.79E+5	-1.35E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0.1	0	0.9	0	0.6	0	0	0.9	0	1	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	0.9	1.2	-8.1	8.7	9.9	15.6	25.6	-7.2	8.7	5.9	11.5	45.8	45.8	0.127
$\sigma_6$	0	0.9	1.2	-6	0	5.9	7.8	9.1	-6.1	0	5.9	11.5	20.5	20.5	0.057
$\sigma_5$	0	0.1	0	1	0	0.5	0	0	0.9	0	1	0	0	0	0
$\sigma_4$	-150	0.9	1.2	-7.8	7.8	9.3	14.8	-126.2	-7	7.8	5.9	11.5	-106.9	106.9	0.301
$\sigma_3$	-144.4	0.9	1.2	-7.7	7.5	9.1	14.5	-121.1	-6.9	7.5	5.9	11.5	-102.2	105.6	0.297
$\sigma_2$	0	0.9	1.2	-6	0	5.9	7.8	9.1	-6.1	0	5.9	11.5	20.5	40.4	0.114
$\sigma_1$	105.8	0.9	1.2	-3.7	-5.8	1.3	2.7	104	-3.8	-5.7	5.9	11.5	109.7	113.8	0.32
$\sigma_0$	115.6	0.9	1.2	-3.5	-6.3	1	2.2	112.8	-3.6	-6.2	5.9	11.5	118	118	0.332
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0		
$\tau_3$	9.4	1.2	1.1	0	0	0	0	10.5	0	0	5.6	4.8	15.3		
$\tau_2$	12.5	1.3	1.4	0	0	0	0	13.9	0	0	5.8	6.2	20.1		
$\tau_1$	10.9	1.1	1.2	0	0	0	0	12.1	0	0	4.5	5.4	17.4		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.332 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.57 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.54 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 3.41 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 3.46 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

**SLS stresses verification (Mmin comb.)**

**Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00
2a	0E+00	1.25E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

3a	0E+00	0E+00	-7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	3.58E+5	0	1.09E+5	0
3b	0E+00	5.55E+4	0E+00	0E+00
Total	3.58E+5	1.79E+5	-1.31E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.9	0	0	0	-0.9	0.9	0.036
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	7.2	-8.7	0	0	7.2	7.2	0.02
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	0	0	0	6.1	6.1	0.017
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.9	0	0	0	-0.9	0.9	0.039
$\sigma_4$	-150	0	0	0	0	0	0	-150	7	-7.8	0	0	-143	143	0.403
$\sigma_3$	-144.4	0	0	0	0	0	0	-144.4	6.9	-7.5	0	0	-137.5	140.3	0.395
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	0	0	0	6.1	34.5	0.097
$\sigma_1$	105.8	0	0	0	0	0	0	105.8	3.8	5.7	0	0	109.6	113.2	0.319
$\sigma_0$	115.6	0	0	0	0	0	0	115.6	3.6	6.2	0	0	119.2	119.2	0.336
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1		
$\tau_3$	9.4	1.2	1.1	0	0	0	0	10.5	0	0	5.6	4.8	16.2		
$\tau_2$	12.5	1.3	1.4	0	0	0	0	13.9	0	0	5.8	6.2	19.6		
$\tau_1$	10.9	1.1	1.2	0	0	0	0	12.1	0	0	4.5	5.4	16.4		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.403 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.86 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.94 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00
2a	3.75E+4	1.25E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.07E+5	0
2c	1.96E+5	0E+00	5.5E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	-2.99E+5	0	-9.07E+4	0
3b	1.52E+5	6.19E+4	0E+00	0E+00
Total	-1.53E+5	1.86E+5	-1.35E+6	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0.1	0	0.9	0	0.5	0	0	0.7	0	0.4	0	0
$\sigma_7$	0	1	1.3	-8.1	8.7	8.2	13	23	-6	7.3	2.6	5.1	35.4
$\sigma_6$	0	1	1.3	-6	0	5	6.5	7.8	-5.1	0	2.6	5.1	12.9
$\sigma_5$	0	0.1	0	1	0	0.4	0	0	0.8	0	0.4	0	0
$\sigma_4$	-150	1	1.3	-7.8	7.8	7.8	12.3	-128.6	-5.8	6.5	2.6	5.1	-117

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_3$	-144.4	1	1.3	-7.7	7.5	7.6	12.1	-123.5	-5.7	6.2	2.6	5.1	-112.2
$\sigma_2$	0	1	1.3	-6	0	5	6.5	7.8	-5.1	0	2.6	5.1	12.9
$\sigma_1$	105.8	1	1.3	-3.7	-5.8	1.1	2.2	103.5	-3.1	-4.8	2.6	5.1	103.8
$\sigma_0$	115.6	1	1.3	-3.5	-6.3	0.8	1.8	112.4	-3	-5.2	2.6	5.1	112.3

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.47 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.45 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.63 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.67 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	926.6
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-113.26
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	103.7
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	113.26
$K_\sigma$	21.77
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.13
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	18.22
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	481.71
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	481.71
$K_\tau$	5.72
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.283
Result	CHECK VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	1.11E+5	-1.34E+6	0E+00
2a	0E+00	1.25E+4	0E+00	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	2.99E+5	0	9.07E+4	0
3b	0E+00	6.19E+4	0E+00	0E+00
Total	2.99E+5	1.86E+5	-1.31E+6	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.7	0	0	0	-0.7
$\sigma_7$	0	0	0	0	0	0	0	0	6	-7.3	0	0	6
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	0	0	0	5.1
$\sigma_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.8	0	0	0	-0.8
$\sigma_4$	-152	0	0	0	0	0	0	-152	5.8	-6.5	0	0	-146.1
$\sigma_3$	-146.3	0	0	0	0	0	0	-146.3	5.8	-6.3	0	0	-140.6

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	0	0	0	5.1
$\sigma_1$	105.6	0	0	0	0	0	0	105.6	3.2	4.8	0	0	108.7
$\sigma_0$	115.4	0	0	0	0	0	0	115.4	3.1	5.2	0	0	118.5

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 0 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.72 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.78 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

**Web assessment (Mmin comb.)**

	<i>Web</i>
b (mm)	926.6
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-138.63
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	108.95
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	138.63
$K_{\sigma}$	18.79
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.13
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	18.03
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	415.91
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	415.91
$K_{\tau}$	5.72
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.368
Result	CHECK VERIFIED

**Shear connectors assessment**

**Main data**

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	10
Stud diameter, d (mm)	16
Stud height, h (mm)	75
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35220
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	40

**Resistance of headed stud connectors**

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	57905.84
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	70494.54
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	57905.84

**Elastic assessment at ULS**

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	71.6
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0.124
<b>CHECK VERIFIED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	1.688E+4	4.492E+6	7.518E+9	10.1
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0
Phase 3b	7.088E+4	8.793E+6	1.013E+10	61.5
Sum				71.6

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	71.6
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.124
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	1.688E+4	4.492E+6	7.518E+9	10.1
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0
Phase 3b	7.088E+4	8.793E+6	1.013E+10	61.5
Sum				71.6

Elastic assessment at ELS

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	55.6
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.16
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	1.25E+4	4.492E+6	7.518E+9	7.5
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0
Phase 3b	5.55E+4	8.793E+6	1.013E+10	48.2
Sum				55.6

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	55.6
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.16
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	1.25E+4	4.492E+6	7.518E+9	7.5
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Phase 3b	5.55E+4	8.793E+6	1.013E+10	48.2
Sum				55.6

## Stiffeners checks

### Torsional buckling of vertical stiffeners

	<i>Vertical stiffeners</i>
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$l_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	1.688E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	1.692E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 1.195E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 6.949E+5 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 10 \text{ mm} \quad b_w = 259.1 \text{ mm} \quad A_{st} = 4840.8 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 37.2 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 926.572181467024 \text{ mm} \quad a/h_w = 3.238$$

### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

$$w = 0 < 3.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 0.1 < 322.7 \text{ N/mm}^2$$

CHECK PASSED

With:

$$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 0E+00 + 9.802E+3 = 9.802E+3 \text{ N}$$

$$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 0E+00 = 0E+00 \text{ N}$$

$$\sigma_m = 0.113 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr(C)} / \sigma_{cr(P)} = 2/1E+300 = 0 \Rightarrow 0.5$$

$$N_{Ed} = 3.132E+5 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.273$$

$$N_{cr,st} = 2.884E+7 \text{ N} \quad e_1 = 37.2 \text{ mm} \quad e_{\text{max}} = 117.8 \text{ mm} \quad w_0 = 3.09 \text{ mm}$$

$$\delta_m = 0$$

$$( I_{vst \text{ min}} = 1.511E+4(\text{mm}^4) \quad u = 2.722 )$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.6.4. Section Sez. 3a\_1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	950 mm
Top flange	400x20 mm
Bottom flange	350x35 mm
Web	10x927 mm, Skew: 15
Slab	1313x130 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 10 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 65 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 16 mm, height 75 mm, number 10/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	150x15 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	2.952E+4	3.951E+4	3.951E+4	3.951E+4	5.848E+4	3.003E+4
z <sub>G</sub> (mm)	413.511	565.708	565.708	565.708	711.418	423.838
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	4.803E+9	7.518E+9	7.518E+9	7.518E+9	1.013E+10	4.986E+9
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.161E+7	-1.329E+7	-1.329E+7	-1.329E+7	-1.424E+7	-1.176E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.269E+7	-1.417E+7	-1.417E+7	-1.417E+7	-1.498E+7	-1.282E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	9.299E+6	2.064E+7	2.064E+7	2.064E+7	4.635E+7	9.851E+6
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	8.952E+6	1.956E+7	1.956E+7	1.956E+7	4.247E+7	9.476E+6
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.956E+7	1.956E+7	1.956E+7	4.247E+7	9.476E+6
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.673E+7	1.673E+7	1.673E+7	3.337E+7	8.434E+6
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.462E+7	1.462E+7	1.462E+7	2.749E+7	7.599E+6
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.851E+6	6.716E+6	6.716E+6	6.716E+6	8.5E+6	4.978E+6
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.593E+6	8.173E+6	8.173E+6	8.173E+6	1.087E+7	5.76E+6
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	4.212E+6	7.487E+6	7.487E+6	7.487E+6	1.062E+7	4.434E+6
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.863E-9	4.492E+6	4.492E+6	4.492E+6	8.793E+6	3.048E+5
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	1.929E+6	1047.6	1080	1015.2
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	1.929E+6	982.4	1014.8	950
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Top reinforcing bars	2.018E+5	1015	1015.2	1014.8
Bottom reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Concrete haunch slab	0E+00	950	950	950
Top flange of steel beam	2.705E+6	940	950	930

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Web of steel beam	3.133E+6	482.5	930	35
Bottom flange of steel beam	4.142E+6	17.5	35	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-1.404E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	1.018E+7			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-1.091E+7			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	7.048E+6			

### Flanges classification

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	9.741	0.814	1	0
Bottom flange	4.852	0.814	1	1

### Web classification

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	92.657	0.814	0.303	-1.302	1
Sagging bending moment (M-)	92.657	0.814	0.081	-0.323	1
Compression (N)	92.657	0.814	1	1	4

### Interaction diagrams

<i>Full composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	3.863E+3	306.06
-1.404E+3	4.291E+3	506.59
-2.808E+3	4.438E+3	707.13
-4.211E+3	4.303E+3	907.66
-5.615E+3	3.995E+3	934.61
-7.019E+3	3.678E+3	939.8
-8.423E+3	3.354E+3	944.99
-9.827E+3	3.022E+3	951.66
-1.123E+4	2.652E+3	998.83
-1.263E+4	2.225E+3	1032.83
-1.404E+4	1.741E+3	1080
0E+00	-5.535E+3	857.07
-1.404E+3	-5.598E+3	656.54
-2.808E+3	-5.381E+3	456
-4.211E+3	-4.881E+3	255.47
-5.615E+3	-4.1E+3	54.94
-7.019E+3	-3.149E+3	29.66
-8.423E+3	-2.188E+3	23.73
-9.827E+3	-1.218E+3	17.79
-1.123E+4	-2.402E+2	11.86
-1.263E+4	7.461E+2	5.93
-1.404E+4	1.741E+3	0
0E+00	3.863E+3	306.06
1.018E+3	3.376E+3	160.63
2.036E+3	2.743E+3	34.41
3.054E+3	2.051E+3	30.11
4.072E+3	1.355E+3	25.81
5.09E+3	6.551E+2	21.51
6.109E+3	-4.949E+1	17.21
7.127E+3	-7.584E+2	12.91
8.145E+3	-1.472E+3	8.6
9.163E+3	-2.19E+3	4.3
1.018E+4	-2.912E+3	0
0E+00	-5.535E+3	857.07
1.018E+3	-5.33E+3	931.88

<i>Web less composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	2.715E+3	29.78
-1.091E+3	3.456E+3	34.39
-2.181E+3	3.345E+3	933.5
-3.272E+3	3.101E+3	937.53
-4.362E+3	2.852E+3	941.56
-5.453E+3	2.599E+3	945.59
-6.543E+3	2.341E+3	949.63
-7.634E+3	2.065E+3	983.24
-8.724E+3	1.748E+3	1014.95
-9.815E+3	1.405E+3	1043.36
-1.091E+4	1.023E+3	1080
0E+00	-4.139E+3	939.69
-1.091E+3	-4.385E+3	935.66
-2.181E+3	-4.628E+3	931.63
-3.272E+3	-4.284E+3	32.26
-4.362E+3	-3.541E+3	27.65
-5.453E+3	-2.793E+3	23.04
-6.543E+3	-2.04E+3	18.43
-7.634E+3	-1.281E+3	13.82
-8.724E+3	-5.182E+2	9.22
-9.815E+3	2.501E+2	4.61
-1.091E+4	1.023E+3	0
0E+00	2.715E+3	29.78
7.048E+2	2.233E+3	26.8
1.41E+3	1.75E+3	23.82
2.114E+3	1.264E+3	20.85
2.819E+3	7.763E+2	17.87
3.524E+3	2.864E+2	14.89
4.229E+3	-2.056E+2	11.91
4.934E+3	-6.996E+2	8.93
5.639E+3	-1.196E+3	5.96
6.343E+3	-1.694E+3	2.98
7.048E+3	-2.194E+3	0
0E+00	-4.139E+3	939.69
7.048E+2	-3.977E+3	942.3



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2.036E+3	-5.104E+3	935.64
3.054E+3	-4.874E+3	939.4
4.072E+3	-4.64E+3	943.17
5.09E+3	-4.402E+3	946.93
6.109E+3	-4.16E+3	956.33
7.127E+3	-3.893E+3	990.54
8.145E+3	-3.593E+3	1015.09
9.163E+3	-3.269E+3	1045.79
1.018E+4	-2.912E+3	1080

1.41E+3	-3.813E+3	944.91
2.114E+3	-3.648E+3	947.51
2.819E+3	-3.48E+3	951.07
3.524E+3	-3.303E+3	974.75
4.229E+3	-3.109E+3	998.44
4.934E+3	-2.899E+3	1015.02
5.639E+3	-2.681E+3	1032.64
6.343E+3	-2.446E+3	1056.32
7.048E+3	-2.194E+3	1080

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.74E+4	-2.64E+6	0E+00
2a	5.06E+4	6.75E+3	-9.79E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.85E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.87E+5	0	-1.29E+5	0
2c	3.52E+5	0E+00	9.9E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	-5.38E+5	0	-1.63E+5	0
3b	3.79E+5	2.87E+4	-4.12E+5	0E+00
Total	-4.26E+4	9.28E+4	-3.14E+6	0E+00

#### *Bending resistance - Plastic analysis*

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	92.66	850.99	0.09	-0.9	1
Top flange	9.74				3
Bottom flange	4.85				1
Section class					3

Plastic analysis: NOT APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.145E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.404E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.535E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.145E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.541E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.003	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.568	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.568

NOT RELEVANT CHECK

#### *Axial force and bending moment stresses of gross cross section*

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	-0.3	0	1.1	0	0.9	0	0	1.3	0	-1.4	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	-4.6	-9.9	-9.7	10.5	14.8	23.5	24	-10.8	13.1	-5.9	-36.2	0.9	0.002
σ <sub>6</sub>	0	1.3	1.7	-7.3	0	8.9	11.7	13.4	-9.2	0	6.5	12.6	26	0.067
σ <sub>5</sub>	0	-0.2	0	1.2	0	0.8	0	0	1.4	0	-0.5	0	0	0
σ <sub>4</sub>	-295	-3.7	-8.6	-9.3	9.3	14	22.2	-272.1	-10.4	11.6	-3.2	-30.8	-291.3	0.862
σ <sub>3</sub>	-284	-3.5	-8.3	-9.2	9	13.7	21.8	-261.5	-10.3	11.2	-2.4	-29.2	-279.5	0.827
σ <sub>2</sub>	0	1.3	1.7	-7.3	0	8.9	11.7	13.4	-9.2	0	6.5	12.6	26	0.077
σ <sub>1</sub>	208.1	8.2	9.3	-4.4	-6.9	1.9	4	214.6	-5.7	-8.6	34	44.7	250.7	0.741
σ <sub>0</sub>	227.4	8.6	10	-4.2	-7.5	1.5	3.3	233.2	-5.5	-9.4	35.4	47.6	271.4	0.803

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Maximum utilization ratio:0.862 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.69 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.73 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.57 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.61 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w=92.657 > 31/\eta * \epsilon_w *(K_\tau)^{0.5}=50.276 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = 1.204E+6 N**

With:

$$a/h_w=3.238, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=5.722$$

$$\text{web contribution: } V_{bw,Rd}=1.126E+6 \text{ N, flanges contribution: } V_{bf,Rd}=7.789E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.652, \quad \lambda_w=1.273, \quad \tau_{cr}=126.6, \quad C=989.7$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=-2.761E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-4.148E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=0.666$$

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = 2.17E+6 N**

Shear resistance: **V<sub>Rd</sub> = min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>) = 1.204E+6 N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.08, \quad (=> \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.085, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.862$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.74E+4	-2.64E+6	0E+00
2a	0E+00	6.75E+3	-9.79E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	5.38E+5	0	1.63E+5	0
3b	0E+00	6.24E+4	-8.71E+5	0E+00
Total	5.38E+5	1.27E+5	-3.56E+6	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmin comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	92.66	930.1	0	-0.94	1
Top flange	9.74				3
Bottom flange	4.85				1

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Section class			3
Plastic analysis: NOT APPLICABLE			

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.557E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5
N <sub>Rd</sub> (N)	1.018E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.535E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.557E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.436E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.053	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.643	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.654
NOT RELEVANT CHECK					

Axial force and bending moment stresses of gross cross section

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	-0.4	0	0	0	0	0	-0.4	-1.3	0	-5.3	0	-6.9	0.307
σ <sub>7</sub>	0	-5.8	-11.6	0	0	0	0	-5.8	10.8	-13.1	-26.1	-103.2	-21.2	0.054
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0	0	0	9.2	0.023
σ <sub>5</sub>	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-1.4	0	-3.4	0	-5.1	0.225
σ <sub>4</sub>	-295	-5	-10.3	0	0	0	0	-300	10.4	-11.6	-20.5	-91.9	-310.1	0.917
σ <sub>3</sub>	-284	-4.7	-9.9	0	0	0	0	-288.7	10.3	-11.2	-18.8	-88.4	-297.2	0.879
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	0	0	0	9.2	0.027
σ <sub>1</sub>	208.1	6.9	7.6	0	0	0	0	215	5.7	8.6	58.1	67.9	278.8	0.825
σ <sub>0</sub>	227.4	7.4	8.3	0	0	0	0	234.7	5.5	9.4	61.1	74	301.4	0.891

Maximum utilization ratio:0.917 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.37 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.28 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -6.95 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -5.11 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w=92.657 > 31/\eta * \epsilon_w *(K_\tau)^{0.5}=50.276 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = 1.126E+6 N**

With:

$$a/h_w=3.238, \quad \eta=1.2, \quad K_\tau=5.722$$

$$\text{web contribution: } V_{bw,Rd}=1.126E+6 \text{ N, flanges contribution: } V_{bf,Rd}=0E+00 \text{ N}$$

$$\chi_w=0.652, \quad \lambda_w=1.273, \quad \tau_{cr}=126.6, \quad C=989.7$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=-1.317E+7 \text{ Nm, } M_{f,Rd}=-4.015E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd}=3.279$$

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = 2.17E+6 N**

Shear resistance: **V<sub>Rd</sub> = min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>) = 1.126E+6 N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.116, \quad (= \Rightarrow \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.116, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.917$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

## **SLS stresses verification (Mmax comb.)**

### **Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	3.75E+4	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.07E+5	0
2c	2.35E+5	0E+00	6.6E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	-3.58E+5	0	-1.09E+5	0
3b	3.44E+5	2.25E+4	-3.22E+5	0E+00
Total	1.87E+4	7E+4	-2.35E+6	0E+00

### **Stresses of gross cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	-0.2	0	0.9	0	0.6	0	0	0.9	0	-1	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	-3.4	-7.3	-8.1	8.7	9.9	15.6	17	-7.2	8.7	-3.8	-26.7	-1	1	0.003
$\sigma_6$	0	0.9	1.2	-6	0	5.9	7.8	9.1	-6.1	0	5.9	11.5	20.5	20.5	0.057
$\sigma_5$	0	-0.2	0	1	0	0.5	0	0	0.9	0	-0.3	0	0	0	0
$\sigma_4$	-218.5	-2.8	-6.4	-7.8	7.8	9.3	14.8	-202.4	-7	7.8	-1.7	-22.5	-217.1	217.1	0.612
$\sigma_3$	-210.4	-2.6	-6.1	-7.7	7.5	9.1	14.5	-194.5	-6.9	7.5	-1.1	-21.2	-208.3	208.5	0.587
$\sigma_2$	0	0.9	1.2	-6	0	5.9	7.8	9.1	-6.1	0	5.9	11.5	20.5	24.6	0.069
$\sigma_1$	154.2	6.1	6.9	-3.7	-5.8	1.3	2.7	158	-3.8	-5.7	27.4	36.6	188.8	189.2	0.533
$\sigma_0$	168.4	6.4	7.4	-3.5	-6.3	1	2.2	171.8	-3.6	-6.2	28.5	38.8	204.4	204.4	0.576
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	3.6	0.5	0.4	0	0	0	0	4	0	0	2.3	1.9	6		
$\tau_2$	4.8	0.5	0.6	0	0	0	0	5.3	0	0	2.3	2.5	7.8		
$\tau_1$	4.1	0.4	0.5	0	0	0	0	4.6	0	0	1.8	2.2	6.8		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.612 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.29 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.33 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.19 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.99 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

## **SLS stresses verification (Mmin comb.)**

### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	0E+00	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

3a	0E+00	0E+00	-7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	3.58E+5	0	1.09E+5	0
3b	0E+00	4.5E+4	-6.28E+5	0E+00
Total	3.58E+5	9.25E+4	-2.62E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-0.9	0	-3.8	0	-4.9	4.9	0.206
$\sigma_7$	0	-4.3	-8.6	0	0	0	0	-4.3	7.2	-8.7	-18.8	-74.5	-16	16	0.044
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	0	0	0	6.1	6.1	0.017
$\sigma_5$	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.2	-0.9	0	-2.5	0	-3.6	3.6	0.15
$\sigma_4$	-218.5	-3.7	-7.7	0	0	0	0	-222.2	7	-7.8	-14.8	-66.3	-230.1	230.1	0.648
$\sigma_3$	-210.4	-3.5	-7.4	0	0	0	0	-213.9	6.9	-7.5	-13.5	-63.8	-220.5	221.1	0.623
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	0	0	0	6.1	18.3	0.052
$\sigma_1$	154.2	5.1	5.7	0	0	0	0	159.3	3.8	5.7	41.9	49	205	205.5	0.579
$\sigma_0$	168.4	5.5	6.2	0	0	0	0	173.9	3.6	6.2	44.1	53.4	221.6	221.6	0.624
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1		
$\tau_3$	3.6	0.5	0.4	0	0	0	0	4.1	0	0	4.6	3.9	8.6		
$\tau_2$	4.8	0.5	0.6	0	0	0	0	5.3	0	0	4.7	5	10		
$\tau_1$	4.1	0.4	0.5	0	0	0	0	4.6	0	0	3.6	4.3	8.2		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.648 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.28 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.21 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -4.95 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -3.61 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	3.75E+4	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.07E+5	0
2c	1.96E+5	0E+00	5.5E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	-2.99E+5	0	-9.07E+4	0
3b	1.52E+5	2.53E+4	-3.56E+5	0E+00
Total	-1.53E+5	7.28E+4	-2.39E+6	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	-0.2	0	0.9	0	0.5	0	0	0.7	0	-1.7	0	0
$\sigma_7$	0	-3.4	-7.4	-8.1	8.8	8.3	13.2	14.6	-6	7.3	-8.1	-37.4	-15.5
$\sigma_6$	0	1	1.3	-6.1	0	5	6.6	7.8	-5.1	0	2.6	5.1	12.9
$\sigma_5$	0	-0.2	0	1	0	0.4	0	0	0.8	0	-1	0	0
$\sigma_4$	-220.1	-2.8	-6.4	-7.8	7.8	7.8	12.4	-206.3	-5.8	6.5	-5.8	-32.7	-232.5

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_3$	-212	-2.6	-6.1	-7.7	7.5	7.7	12.2	-198.4	-5.8	6.3	-5.1	-31.3	-223.4
$\sigma_2$	0	1	1.3	-6.1	0	5	6.6	7.8	-5.1	0	2.6	5.1	12.9
$\sigma_1$	154	6.1	6.9	-3.7	-5.7	1.1	2.2	157.4	-3.2	-4.8	26.4	32.8	185.4
$\sigma_0$	168.3	6.4	7.4	-3.5	-6.3	0.8	1.8	171.3	-3.1	-5.2	27.6	35.3	201.4

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.2 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.25 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0.19 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.06 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	926.6
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-221.79
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	185.61
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	221.79
$K_\sigma$	19.92
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.13
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	7.15
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	440.92
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	440.92
$K_\tau$	5.72
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.507
Result	CHECK VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	0E+00	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	2.99E+5	0	9.07E+4	0
3b	0E+00	2.53E+4	-3.56E+5	0E+00
Total	2.99E+5	7.28E+4	-2.36E+6	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncrack ed	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncrack ed	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncrack ed	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncrack ed	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncrack ed	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-0.7	0	-2.2	0	-3.2
$\sigma_7$	0	-4.3	-8.6	0	0	0	0	-4.3	6	-7.3	-10.7	-42.4	-9
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	0	0	0	5.1
$\sigma_5$	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.2	-0.8	0	-1.4	0	-2.4
$\sigma_4$	-219.5	-3.7	-7.7	0	0	0	0	-223.2	5.8	-6.5	-8.4	-37.7	-225.8
$\sigma_3$	-211.3	-3.5	-7.4	0	0	0	0	-214.8	5.8	-6.2	-7.7	-36.3	-216.7

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	0	0	0	5.1
$\sigma_1$	154.1	5.1	5.7	0	0	0	0	159.2	3.2	4.8	23.8	27.8	186.1
$\sigma_0$	168.4	5.5	6.2	0	0	0	0	173.8	3	5.2	25	30.3	201.9

**NOTE:**

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.28 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.21 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -3.15 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -2.39 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

**Web assessment (Mmin comb.)**

	<i>Web</i>
b (mm)	926.6
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-215.83
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	186.22
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	215.83
$K_{\sigma}$	20.52
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.13
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	7.07
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	454.07
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	454.07
$K_{\tau}$	5.72
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.479
Result	CHECK VERIFIED

**Shear connectors assessment**

**Main data**

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	10
Stud diameter, d (mm)	16
Stud height, h (mm)	75
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35220
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	40

**Resistance of headed stud connectors**

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	57905.84
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	70494.54
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	57905.84

**Elastic assessment at ULS**

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	28.9
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0.05
<b>CHECK VERIFIED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	6.75E+3	4.492E+6	7.518E+9	4
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0
Phase 3b	2.869E+4	8.793E+6	1.013E+10	24.9
Sum				28.9

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	58.2
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.101
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	6.75E+3	4.492E+6	7.518E+9	4
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0
Phase 3b	6.244E+4	8.793E+6	1.013E+10	54.2
Sum				58.2

Elastic assessment at ELS

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	22.5
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.065
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	5E+3	4.492E+6	7.518E+9	3
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0
Phase 3b	2.25E+4	8.793E+6	1.013E+10	19.5
Sum				22.5

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	42
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.121
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	5E+3	4.492E+6	7.518E+9	3
Phase 2b	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.492E+6	7.518E+9	0
Phase 3a	0E+00	8.793E+6	1.013E+10	0



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Phase 3b	4.5E+4	8.793E+6	1.013E+10	39.1
Sum				42

## Stiffeners checks

### Torsional buckling of vertical stiffeners

	<i>Vertical stiffeners</i>
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$l_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	1.688E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	1.692E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 1.195E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 6.949E+5 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 10 \text{ mm} \quad b_w = 259.1 \text{ mm} \quad A_{st} = 4840.8 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 37.2 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 926.572181467024 \text{ mm} \quad a/h_w = 3.238$$

### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

$$w = 0 < 3.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 0.2 < 322.7 \text{ N/mm}^2$$

CHECK PASSED

With:

$$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 0E+00 + 2.136E+4 = 2.136E+4 \text{ N}$$

$$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 0E+00 = 0E+00 \text{ N}$$

$$\sigma_m = 0.246 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr(C)} / \sigma_{cr(P)} = 2/1E+300 = 0 \Rightarrow 0.5$$

$$N_{Ed} = 6.825E+5 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.273$$

$$N_{cr,st} = 2.884E+7 \text{ N} \quad e_1 = 37.2 \text{ mm} \quad e_{\text{max}} = 117.8 \text{ mm} \quad w_0 = 3.09 \text{ mm}$$

$$\delta_m = 0$$

$$( I_{vst \text{ min}} = 3.293E+4(\text{mm}^4) \quad u = 2.722 )$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.6.5. Section Sez. 3b\_1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	950 mm
Top flange	400x25 mm
Bottom flange	350x40 mm
Web	10x916 mm, Skew: 15
Slab	1313x130 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 10 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 65 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 0 mm
Studs	diameter 16 mm, height 75 mm, number 10/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	150x15 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	3.316E+4	4.316E+4	4.316E+4	4.316E+4	6.213E+4	3.368E+4
z <sub>G</sub> (mm)	424.452	561.256	561.256	561.256	699.772	433.493
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	5.554E+9	8.246E+9	8.246E+9	8.246E+9	1.099E+10	5.731E+9
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.308E+7	-1.469E+7	-1.469E+7	-1.469E+7	-1.57E+7	-1.322E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.445E+7	-1.582E+7	-1.582E+7	-1.582E+7	-1.665E+7	-1.456E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.11E+7	2.267E+7	2.267E+7	2.267E+7	4.878E+7	1.166E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.057E+7	2.121E+7	2.121E+7	2.121E+7	4.39E+7	1.11E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	2.121E+7	2.121E+7	2.121E+7	4.39E+7	1.11E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.817E+7	1.817E+7	1.817E+7	3.485E+7	9.855E+6
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.59E+7	1.59E+7	1.59E+7	2.889E+7	8.864E+6
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.662E+6	7.578E+6	7.578E+6	7.578E+6	9.517E+6	5.789E+6
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.427E+6	8.984E+6	8.984E+6	8.984E+6	1.177E+7	6.59E+6
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.13E+6	8.299E+6	8.299E+6	8.299E+6	1.151E+7	5.34E+6
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.313E-10	4.537E+6	4.537E+6	4.537E+6	9.13E+6	2.998E+5
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	z <sub>N</sub> (mm)	z <sub>max</sub> (mm)	z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	1.929E+6	1047.6	1080	1015.2
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	1.929E+6	982.4	1014.8	950
Concrete layer below top reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Top reinforcing bars	2.018E+5	1015	1015.2	1014.8
Bottom reinforcing bars	0E+00	950	950	950
Concrete haunch slab	0E+00	950	950	950
Top flange of steel beam	3.381E+6	937.5	950	925

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Web of steel beam	3.098E+6	482.5	925	40
Bottom flange of steel beam	4.733E+6	20	40	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-1.527E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	1.141E+7			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-1.217E+7			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	8.316E+6			

**Flanges classification**

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	7.793	0.814	1	0
Bottom flange	4.246	0.814	1	1

**Web classification**

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	91.622	0.814	0.314	-1.249	1
Sagging bending moment (M-)	91.622	0.814	0.063	-0.341	1
Compression (N)	91.622	0.814	1	1	4

**Interaction diagrams**

<i>Full composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	4.426E+3	318.14
-1.527E+3	4.842E+3	536.28
-3.054E+3	4.925E+3	754.42
-4.581E+3	4.683E+3	926.23
-6.108E+3	4.333E+3	931.88
-7.636E+3	3.974E+3	937.52
-9.163E+3	3.606E+3	943.17
-1.069E+4	3.23E+3	948.82
-1.222E+4	2.824E+3	990.54
-1.374E+4	2.349E+3	1028.69
-1.527E+4	1.807E+3	1080
0E+00	-6.051E+3	869.14
-1.527E+3	-6.143E+3	651
-3.054E+3	-5.902E+3	432.85
-4.581E+3	-5.328E+3	214.71
-6.108E+3	-4.427E+3	38.72
-7.636E+3	-3.413E+3	32.26
-9.163E+3	-2.388E+3	25.81
-1.069E+4	-1.354E+3	19.36
-1.222E+4	-3.102E+2	12.91
-1.374E+4	7.437E+2	6.45
-1.527E+4	1.807E+3	0
0E+00	4.426E+3	318.14
1.141E+3	3.897E+3	155.09
2.283E+3	3.19E+3	38.58
3.424E+3	2.433E+3	33.76
4.565E+3	1.67E+3	28.94
5.707E+3	9.014E+2	24.11
6.848E+3	1.275E+2	19.29
7.99E+3	-6.52E+2	14.47
9.131E+3	-1.437E+3	9.65
1.027E+4	-2.227E+3	4.82
1.141E+4	-3.023E+3	0
0E+00	-6.051E+3	869.14
1.141E+3	-5.804E+3	927.77

<i>Web less composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	3.323E+3	35.14
-1.217E+3	4.07E+3	925.25
-2.435E+3	3.793E+3	929.75
-3.652E+3	3.51E+3	934.25
-4.869E+3	3.222E+3	938.75
-6.087E+3	2.928E+3	943.25
-7.304E+3	2.629E+3	947.75
-8.521E+3	2.319E+3	970.46
-9.739E+3	1.964E+3	1011.36
-1.096E+4	1.572E+3	1039.1
-1.217E+4	1.134E+3	1080
0E+00	-4.678E+3	935.01
-1.217E+3	-4.961E+3	930.51
-2.435E+3	-5.239E+3	926.01
-3.652E+3	-4.675E+3	36.01
-4.869E+3	-3.864E+3	30.86
-6.087E+3	-3.047E+3	25.72
-7.304E+3	-2.223E+3	20.57
-8.521E+3	-1.393E+3	15.43
-9.739E+3	-5.569E+2	10.29
-1.096E+4	2.856E+2	5.14
-1.217E+4	1.134E+3	0
0E+00	3.323E+3	35.14
8.316E+2	2.769E+3	31.62
1.663E+3	2.212E+3	28.11
2.495E+3	1.652E+3	24.6
3.326E+3	1.089E+3	21.08
4.158E+3	5.229E+2	17.57
4.99E+3	-4.588E+1	14.06
5.821E+3	-6.176E+2	10.54
6.653E+3	-1.192E+3	7.03
7.484E+3	-1.77E+3	3.51
8.316E+3	-2.35E+3	0
0E+00	-4.678E+3	935.01
8.316E+2	-4.481E+3	938.08

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

2.283E+3	-5.541E+3	931.99
3.424E+3	-5.274E+3	936.21
4.565E+3	-5.001E+3	940.43
5.707E+3	-4.724E+3	944.65
6.848E+3	-4.442E+3	948.87
7.99E+3	-4.145E+3	978.11
9.131E+3	-3.806E+3	1014.85
1.027E+4	-3.435E+3	1041.65
1.141E+4	-3.023E+3	1080

1.663E+3	-4.281E+3	941.16
2.495E+3	-4.079E+3	944.23
3.326E+3	-3.875E+3	947.31
4.158E+3	-3.667E+3	953.45
4.99E+3	-3.445E+3	981.4
5.821E+3	-3.199E+3	1009.34
6.653E+3	-2.936E+3	1024.12
7.484E+3	-2.655E+3	1052.06
8.316E+3	-2.35E+3	1080

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.74E+4	-2.64E+6	0E+00
2a	5.06E+4	6.75E+3	-9.79E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.85E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.87E+5	0	-1.3E+5	0
2c	3.52E+5	0E+00	9.9E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	-5.38E+5	0	-1.69E+5	0
3b	3.79E+5	2.87E+4	-4.12E+5	0E+00
Total	-4.26E+4	9.28E+4	-3.15E+6	0E+00

#### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	91.62	863.06	0.07	-0.95	1
Top flange	7.79				2
Bottom flange	4.25				1
Section class					2

Plastic analysis: APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.152E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.527E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-6.051E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.152E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-6.058E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.003	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.521	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.52

CHECK PASSED

#### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	-0.3	0	1.2	0	0.8	0	0	1.4	0	-1.4	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	-4.2	-8.4	-8.9	9	13.6	20.5	21.1	-10.4	11.2	-5.7	-30.5	1.7	0.004
σ <sub>6</sub>	0	1.2	1.5	-6.6	0	8.2	10.5	12	-8.7	0	6.1	11.3	23.2	0.059
σ <sub>5</sub>	0	-0.2	0	1.2	0	0.7	0	0	1.5	0	-0.5	0	0	0
σ <sub>4</sub>	-249.9	-3.4	-7.3	-8.6	8	12.8	19.4	-229.9	-10	9.9	-3.3	-25.9	-245.8	0.727
σ <sub>3</sub>	-238	-3.1	-6.9	-8.5	7.6	12.5	18.9	-218.4	-9.9	9.5	-2.3	-24.1	-233	0.689
σ <sub>2</sub>	0	1.2	1.5	-6.6	0	8.2	10.5	12	-8.7	0	6.1	11.3	23.2	0.069
σ <sub>1</sub>	182.8	7.4	8.2	-4	-6.1	1.9	3.7	188.6	-5.1	-7.6	30.8	39.5	220.6	0.652
σ <sub>0</sub>	201.8	7.8	8.9	-3.8	-6.7	1.4	3	207	-4.9	-8.3	32.3	42.4	241.1	0.713

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Maximum utilization ratio: 0.727 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.69 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.72 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.7 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.66 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 91.622 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 50.238 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = 1.218E+6 N**

With:

a/h<sub>w</sub> = 3.274, η = 1.2, K<sub>τ</sub> = 5.713  
 web contribution: V<sub>bw,Rd</sub> = 1.125E+6 N, flanges contribution: V<sub>bf,Rd</sub> = 9.25E+4 N  
 χ<sub>w</sub> = 0.659, λ<sub>w</sub> = 1.259, τ<sub>cr</sub> = 129.3, C = 1070.2  
 M<sub>Ed</sub> = -3.152E+6 Nm, M<sub>f,Rd</sub> = -4.688E+6 Nm, M<sub>Ed</sub>/M<sub>f,Rd</sub> = 0.672

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = 2.146E+6 N**

Shear resistance: **V<sub>Rd</sub> = min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>) = 1.218E+6 N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.079, \quad (=> \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.085, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.52$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	5.74E+4	-2.64E+6	0E+00
2a	0E+00	6.75E+3	-9.79E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	5.38E+5	0	1.69E+5	0
3b	0E+00	6.24E+4	-8.71E+5	0E+00
Total	5.38E+5	1.27E+5	-3.55E+6	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmin comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	91.62	925.54	0	-0.98	1
Top flange	7.79				2
Bottom flange	4.25				1

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Section class			2
Plastic analysis: APPLICABLE			

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.55E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5
N <sub>Rd</sub> (N)	1.141E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-6.051E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.55E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.941E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.047	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.587	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.598
CHECK PASSED					

Axial force and bending moment stresses of gross cross section

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-1.4	0	-5	0	-6.7	0.297
σ <sub>7</sub>	0	-5.4	-9.9	0	0	0	0	-5.4	10.4	-11.2	-25	-88.4	-20	0.051
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	8.7	0	0	0	8.7	0.022
σ <sub>5</sub>	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-1.5	0	-3.3	0	-5	0.223
σ <sub>4</sub>	-249.9	-4.6	-8.8	0	0	0	0	-254.5	10	-9.9	-19.8	-78.5	-264.4	0.782
σ <sub>3</sub>	-238	-4.3	-8.4	0	0	0	0	-242.3	9.9	-9.5	-17.9	-74.7	-250.3	0.74
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	8.7	0	0	0	8.7	0.026
σ <sub>1</sub>	182.8	6.2	6.7	0	0	0	0	189	5.1	7.6	52.3	59.8	246.4	0.729
σ <sub>0</sub>	201.8	6.7	7.4	0	0	0	0	208.5	4.9	8.3	55.5	65.9	268.9	0.795

Maximum utilization ratio: 0.795 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.34 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.26 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -6.73 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -5.04 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 91.622 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 50.238 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = 1.191E+6 N**

With:

$$a/h_w = 3.274, \quad \eta = 1.2, \quad K_\tau = 5.713$$

$$\text{web contribution: } V_{bw,Rd} = 1.125E+6 \text{ N, flanges contribution: } V_{bf,Rd} = 6.608E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.659, \quad \lambda_w = 1.259, \quad \tau_{cr} = 129.3, \quad C = 1070.2$$

$$M_{Ed} = -3.55E+6 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = -4.551E+6 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.78$$

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = 2.146E+6 N**

Shear resistance: **V<sub>Rd</sub> = min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>) = 1.191E+6 N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.11, \quad (= > \text{ CHECK VERIFIED })$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.116, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{Rd} = 0.598$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

## **SLS stresses verification (Mmax comb.)**

### **Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	3.75E+4	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.08E+5	0
2c	2.35E+5	0E+00	6.6E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	-3.58E+5	0	-1.13E+5	0
3b	3.44E+5	2.25E+4	-3.22E+5	0E+00
Total	1.87E+4	7E+4	-2.36E+6	0E+00

### **Stresses of gross cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	-0.2	0	1	0	0.5	0	0	0.9	0	-0.9	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	-3.1	-6.2	-7.4	7.5	9.1	13.7	14.9	-6.9	7.5	-3.7	-22.5	-0.1	0.1	0
$\sigma_6$	0	0.9	1.1	-5.5	0	5.4	7	8.1	-5.8	0	5.5	10.2	18.3	18.3	0.051
$\sigma_5$	0	-0.1	0	1	0	0.5	0	0	1	0	-0.3	0	0	0	0
$\sigma_4$	-185.1	-2.5	-5.4	-7.2	6.6	8.6	12.9	-171	-6.7	6.6	-1.8	-18.8	-183.2	183.2	0.516
$\sigma_3$	-176.3	-2.3	-5.1	-7.1	6.3	8.4	12.6	-162.5	-6.6	6.3	-1.1	-17.4	-173.6	173.9	0.49
$\sigma_2$	0	0.9	1.1	-5.5	0	5.4	7	8.1	-5.8	0	5.5	10.2	18.3	22.7	0.064
$\sigma_1$	135.4	5.5	6.1	-3.3	-5.1	1.3	2.4	138.9	-3.4	-5	24.9	32.3	166.2	166.6	0.469
$\sigma_0$	149.5	5.8	6.6	-3.2	-5.6	0.9	2	152.5	-3.3	-5.6	26	34.6	181.5	181.5	0.511
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	3.8	0.5	0.5	0	0	0	0	4.2	0	0	2.3	2	6.3		
$\tau_2$	4.8	0.5	0.6	0	0	0	0	5.3	0	0	2.3	2.5	7.8		
$\tau_1$	4.2	0.4	0.5	0	0	0	0	4.7	0	0	1.9	2.2	6.9		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.516 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.3 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.33 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.27 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.02 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

## **SLS stresses verification (Mmin comb.)**

### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	0E+00	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

3a	0E+00	0E+00	-7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	3.58E+5	0	1.13E+5	0
3b	0E+00	4.5E+4	-6.28E+5	0E+00
Total	3.58E+5	9.25E+4	-2.62E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-0.9	0	-3.6	0	-4.8	4.8	0.199
$\sigma_7$	0	-4	-7.4	0	0	0	0	-4	6.9	-7.5	-18	-63.7	-15.1	15.1	0.042
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	5.8	5.8	0.016
$\sigma_5$	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.2	-1	0	-2.4	0	-3.6	3.6	0.148
$\sigma_4$	-185.1	-3.4	-6.5	0	0	0	0	-188.5	6.7	-6.6	-14.3	-56.6	-196.2	196.2	0.553
$\sigma_3$	-176.3	-3.2	-6.2	0	0	0	0	-179.5	6.6	-6.3	-12.9	-53.9	-185.8	186.4	0.525
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	5.8	18.1	0.051
$\sigma_1$	135.4	4.6	5	0	0	0	0	140	3.4	5	37.7	43.1	181.1	181.7	0.512
$\sigma_0$	149.5	4.9	5.5	0	0	0	0	154.4	3.3	5.6	40	47.5	197.7	197.7	0.557
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1		
$\tau_3$	3.8	0.5	0.5	0	0	0	0	4.3	0	0	4.6	4.1	8.8		
$\tau_2$	4.8	0.5	0.6	0	0	0	0	5.3	0	0	4.7	5	9.9		
$\tau_1$	4.2	0.4	0.5	0	0	0	0	4.6	0	0	3.8	4.4	8.4		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.557 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.25 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.19 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -4.79 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -3.56 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	3.75E+4	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.08E+5	0
2c	1.96E+5	0E+00	5.5E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	-2.99E+5	0	-9.42E+4	0
3b	1.52E+5	2.53E+4	-3.56E+5	0E+00
Total	-1.53E+5	7.28E+4	-2.4E+6	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	-0.2	0	1	0	0.4	0	0	0.8	0	-1.6	0	0
$\sigma_7$	0	-3.1	-6.2	-7.4	7.5	7.6	11.4	12.6	-5.8	6.2	-7.8	-31.6	-12.8
$\sigma_6$	0	0.9	1.1	-5.5	0	4.5	5.8	6.9	-4.8	0	2.4	4.5	11.4
$\sigma_5$	0	-0.1	0	1	0	0.4	0	0	0.8	0	-0.9	0	0
$\sigma_4$	-185.1	-2.5	-5.4	-7.2	6.6	7.1	10.8	-173.1	-5.6	5.5	-5.7	-27.6	-195.2



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_3$	-176.3	-2.3	-5.1	-7.1	6.3	7	10.5	-164.6	-5.5	5.3	-4.9	-26	-185.4
$\sigma_2$	0	0.9	1.1	-5.5	0	4.5	5.8	6.9	-4.8	0	2.4	4.5	11.4
$\sigma_1$	135.4	5.5	6.1	-3.3	-5.1	1.1	2	138.5	-2.8	-4.2	23.8	29	163.2
$\sigma_0$	149.5	5.8	6.6	-3.2	-5.6	0.8	1.6	152.2	-2.7	-4.6	25.1	31.5	179

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.21 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.26 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0.32 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.13 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	916.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-185.36
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	163.25
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	185.36
$K_\sigma$	20.94
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.63
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	7.26
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	473.84
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	473.84
$K_\tau$	5.71
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.396
Result	CHECK VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	4.25E+4	-1.96E+6	0E+00
2a	0E+00	5E+3	-7.25E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	2.99E+5	0	9.42E+4	0
3b	0E+00	2.53E+4	-3.56E+5	0E+00
Total	2.99E+5	7.28E+4	-2.35E+6	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-0.8	0	-2.1	0	-3.1
$\sigma_7$	0	-4	-7.4	0	0	0	0	-4	5.8	-6.2	-10.2	-36.1	-8.5
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	4.8
$\sigma_5$	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.2	-0.8	0	-1.4	0	-2.4
$\sigma_4$	-185.1	-3.4	-6.5	0	0	0	0	-188.5	5.6	-5.5	-8.1	-32.1	-191.1
$\sigma_3$	-176.3	-3.2	-6.2	0	0	0	0	-179.5	5.5	-5.3	-7.3	-30.6	-181.3

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	4.8
$\sigma_1$	135.4	4.6	5	0	0	0	0	140	2.8	4.2	21.4	24.5	164.2
$\sigma_0$	149.5	4.9	5.5	0	0	0	0	154.4	2.7	4.6	22.7	26.9	179.9

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.25 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.19 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -3.07 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -2.37 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	<i>Web</i>
b (mm)	916.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-181.34
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	164.23
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	181.34
$K_{\sigma}$	21.53
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.63
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	7.16
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	487.28
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	487.28
$K_{\tau}$	5.71
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.377
Result	CHECK VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, n (m <sup>-1</sup> )	10
Stud diameter, d (mm)	16
Stud height, h (mm)	75
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35220
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	40

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	57905.84
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	70494.54
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	57905.84

### Elastic assessment at ULS

#### Utilization ratio (Mmax comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	27.6
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0.048
<b>CHECK VERIFIED</b>	

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	6.75E+3	4.537E+6	8.246E+9	3.7
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Phase 3b	2.869E+4	9.13E+6	1.099E+10	23.8
Sum				27.6

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	55.6
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.096
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	6.75E+3	4.537E+6	8.246E+9	3.7
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Phase 3b	6.244E+4	9.13E+6	1.099E+10	51.9
Sum				55.6

Elastic assessment at ELS

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	21.5
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.062
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	5E+3	4.537E+6	8.246E+9	2.8
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Phase 3b	2.25E+4	9.13E+6	1.099E+10	18.7
Sum				21.5

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	40.2
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0.116
<b>CHECK VERIFIED</b>	

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	5E+3	4.537E+6	8.246E+9	2.8
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Phase 3b	4.5E+4	9.13E+6	1.099E+10	37.4
Sum				40.2

## Stiffeners checks

### Torsional buckling of vertical stiffeners

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$6 \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$l_{cr}$ (mm)	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	1.688E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	1.692E+7
$I_T / I_P$	0.01
$5.3 f_y / E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 1.195E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 6.872E+5 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 10 \text{ mm} \quad b_w = 259.1 \text{ mm} \quad A_{st} = 4840.8 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 37.2 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 916.219419662924 \text{ mm} \quad a/h_w = 3.274$$

### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

$$w = 0 < 3.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 0.2 < 322.7 \text{ N/mm}^2$$

CHECK PASSED

With:

$$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 0E+00 + 1.697E+4 = 1.697E+4 \text{ N}$$

$$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 0E+00 = 0E+00 \text{ N}$$

$$\sigma_m = 0.199 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr(C)} / \sigma_{cr(P)} = 2/1E+300 = 0 \Rightarrow 0.5$$

$$N_{Ed} = 5.483E+5 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.259$$

$$N_{cr,st} = 2.95E+7 \text{ N} \quad e_1 = 37.2 \text{ mm} \quad e_{\text{max}} = 117.8 \text{ mm} \quad w_0 = 3.05 \text{ mm}$$

$$\delta_m = 0$$

$$( I_{st \text{ min}} = 2.579E+4(\text{mm}^4) \quad u = 2.753 )$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.6.6. Section Sez. 4\_1

### Main properties

#### Main data

Steel section height	950 mm
Top flange	400x25 mm
Bottom flange	350x40 mm
Web	10x916 mm, Skew: 15
Slab	1313x130 mm
Haunch	0x0 mm (not considered in the geometric properties calculation)
Top reinforcing bars	diameter 10 mm, bar spacing 200 mm, dist. top slab face-bar centre 65 mm
Bottom reinforcing bars	diameter 0 mm, bar spacing 100 mm, dist. bottom slab face-bar centre 2 mm
Studs	diameter 16 mm, height 75 mm, number 10/m

#### Vertical stiffeners

Distance	3000 mm
Type	R Single sided
Plate 1	150x15 mm
Plate 2	---

#### Geometric properties of gross cross section

	Phase 1	Phase 2a	Phase 2b	Phase 2c	Phase 3	Cracked
A (mm <sup>2</sup> )	3.316E+4	4.316E+4	4.316E+4	4.316E+4	6.213E+4	3.368E+4
Z <sub>G</sub> (mm)	424.452	561.256	561.256	561.256	699.772	433.493
J <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	5.554E+9	8.246E+9	8.246E+9	8.246E+9	1.099E+10	5.731E+9
W <sub>y,0</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.308E+7	-1.469E+7	-1.469E+7	-1.469E+7	-1.57E+7	-1.322E+7
W <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	-1.445E+7	-1.582E+7	-1.582E+7	-1.582E+7	-1.665E+7	-1.456E+7
W <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.11E+7	2.267E+7	2.267E+7	2.267E+7	4.878E+7	1.166E+7
W <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	1.057E+7	2.121E+7	2.121E+7	2.121E+7	4.39E+7	1.11E+7
W <sub>y,5</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	2.121E+7	2.121E+7	2.121E+7	4.39E+7	1.11E+7
W <sub>y,6</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300	1E+300
W <sub>y,7</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.817E+7	1.817E+7	1.817E+7	3.485E+7	9.855E+6
W <sub>y,8</sub> (mm <sup>3</sup> )	1E+300	1.59E+7	1.59E+7	1.59E+7	2.889E+7	8.864E+6
S <sub>y,1</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.662E+6	7.578E+6	7.578E+6	7.578E+6	9.517E+6	5.789E+6
S <sub>y,2</sub> (mm <sup>3</sup> )	6.427E+6	8.984E+6	8.984E+6	8.984E+6	1.177E+7	6.59E+6
S <sub>y,3</sub> (mm <sup>3</sup> )	5.13E+6	8.299E+6	8.299E+6	8.299E+6	1.151E+7	5.34E+6
S <sub>y,4</sub> (mm <sup>3</sup> )	-9.313E-10	4.537E+6	4.537E+6	4.537E+6	9.13E+6	2.998E+5
n <sub>E</sub>	1E+300	18	18	18	6	1E+300

### First classification

The first classification refers to the composite section in Phase 3

#### Plastic characteristics of the single components

Components	N <sub>pl</sub> (N)	Z <sub>N</sub> (mm)	Z <sub>max</sub> (mm)	Z <sub>min</sub> (mm)
Concrete layer above top reinforcing bars	1.929E+6	1047.6	1080	1015.2
Concrete layer between top and bottom reinforcing bars	1.869E+6	983.4	1014.8	952
Concrete layer below top reinforcing bars	5.952E+4	951	952	950
Top reinforcing bars	2.018E+5	1015	1015.2	1014.8

Pag. 366/474

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Bottom reinforcing bars	0E+00	952	952	952
Concrete haunch slab	0E+00	950	950	950
Top flange of steel beam	3.381E+6	937.5	950	925
Web of steel beam	3.098E+6	482.5	925	40
Bottom flange of steel beam	4.733E+6	20	40	0
<i>Ultimate compression force for the full section</i>	-1.527E+7			
<i>Ultimate tension force for the full section</i>	1.141E+7			
<i>Ultimate compression force for the web less section</i>	-1.217E+7			
<i>Ultimate tensile force for the web less section</i>	8.316E+6			

**Flanges classification**

	c/t	$\epsilon$	Hogging bending moment (M+)	Sagging bending moment (M-)
Top flange	7.793	0.814	1	0
Bottom flange	4.246	0.814	1	1

**Web classification**

	c/t	$\epsilon$	$\alpha$	$\psi$	class
Hogging bending moment (M+)	91.622	0.814	0.314	-1.249	1
Sagging bending moment (M-)	91.622	0.814	0.063	-0.341	1
Compression (N)	91.622	0.814	1	1	4

**Interaction diagrams**

<i>Full composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	4.426E+3	318.14
-1.527E+3	4.842E+3	536.28
-3.054E+3	4.925E+3	754.42
-4.581E+3	4.683E+3	926.23
-6.108E+3	4.333E+3	931.88
-7.636E+3	3.974E+3	937.52
-9.163E+3	3.606E+3	943.17
-1.069E+4	3.23E+3	948.82
-1.222E+4	2.824E+3	990.54
-1.374E+4	2.349E+3	1028.69
-1.527E+4	1.807E+3	1080
0E+00	-6.051E+3	869.14
-1.527E+3	-6.143E+3	651
-3.054E+3	-5.902E+3	432.85
-4.581E+3	-5.328E+3	214.71
-6.108E+3	-4.427E+3	38.72
-7.636E+3	-3.413E+3	32.26
-9.163E+3	-2.388E+3	25.81
-1.069E+4	-1.354E+3	19.36
-1.222E+4	-3.102E+2	12.91
-1.374E+4	7.437E+2	6.45
-1.527E+4	1.807E+3	0
0E+00	4.426E+3	318.14
1.141E+3	3.897E+3	155.09
2.283E+3	3.19E+3	38.58
3.424E+3	2.433E+3	33.76
4.565E+3	1.67E+3	28.94
5.707E+3	9.014E+2	24.11
6.848E+3	1.275E+2	19.29
7.99E+3	-6.52E+2	14.47
9.131E+3	-1.437E+3	9.65
1.027E+4	-2.227E+3	4.82

<i>Web less composite section</i>		
N (kN)	M (kNm)	$z_{pl}$ (mm)
0E+00	3.323E+3	35.14
-1.217E+3	4.07E+3	925.25
-2.435E+3	3.793E+3	929.75
-3.652E+3	3.51E+3	934.25
-4.869E+3	3.222E+3	938.75
-6.087E+3	2.928E+3	943.25
-7.304E+3	2.629E+3	947.75
-8.521E+3	2.319E+3	970.46
-9.739E+3	1.964E+3	1011.36
-1.096E+4	1.572E+3	1039.1
-1.217E+4	1.134E+3	1080
0E+00	-4.678E+3	935.01
-1.217E+3	-4.961E+3	930.51
-2.435E+3	-5.239E+3	926.01
-3.652E+3	-4.675E+3	36.01
-4.869E+3	-3.864E+3	30.86
-6.087E+3	-3.047E+3	25.72
-7.304E+3	-2.223E+3	20.57
-8.521E+3	-1.393E+3	15.43
-9.739E+3	-5.569E+2	10.29
-1.096E+4	2.856E+2	5.14
-1.217E+4	1.134E+3	0
0E+00	3.323E+3	35.14
8.316E+2	2.769E+3	31.62
1.663E+3	2.212E+3	28.11
2.495E+3	1.652E+3	24.6
3.326E+3	1.089E+3	21.08
4.158E+3	5.229E+2	17.57
4.99E+3	-4.588E+1	14.06
5.821E+3	-6.176E+2	10.54
6.653E+3	-1.192E+3	7.03
7.484E+3	-1.77E+3	3.51

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

1.141E+4	-3.023E+3	0
0E+00	-6.051E+3	869.14
1.141E+3	-5.804E+3	927.77
2.283E+3	-5.541E+3	931.99
3.424E+3	-5.274E+3	936.21
4.565E+3	-5.001E+3	940.43
5.707E+3	-4.724E+3	944.65
6.848E+3	-4.442E+3	948.87
7.99E+3	-4.145E+3	978.11
9.131E+3	-3.806E+3	1014.85
1.027E+4	-3.435E+3	1041.65
1.141E+4	-3.023E+3	1080

8.316E+3	-2.35E+3	0
0E+00	-4.678E+3	935.01
8.316E+2	-4.481E+3	938.08
1.663E+3	-4.281E+3	941.16
2.495E+3	-4.079E+3	944.23
3.326E+3	-3.875E+3	947.31
4.158E+3	-3.667E+3	953.45
4.99E+3	-3.445E+3	981.4
5.821E+3	-3.199E+3	1009.34
6.653E+3	-2.936E+3	1024.12
7.484E+3	-2.655E+3	1052.06
8.316E+3	-2.35E+3	1080

### U.L.S. composite section verification (Mmax comb.)

#### Forces and moments (Mmax comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-2.78E+6	0E+00
2a	5.06E+4	0E+00	-1.16E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	8.85E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.87E+5	0	-1.3E+5	0
2c	3.52E+5	0E+00	9.9E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	-5.38E+5	0	-1.69E+5	0
3b	3.79E+5	0E+00	-4.89E+5	0E+00
Total	-4.26E+4	0E+00	-3.39E+6	0E+00

#### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmax comb.)

	c/t	z <sub>pl</sub> (mm)	α	ψ	Class
Web	91.62	863.06	0.07	-0.93	1
Top flange	7.79				2
Bottom flange	4.25				1
Section class					2

Plastic analysis: APPLICABLE

#### Plastic section verification (Mmax comb.)

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.391E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	-4.256E+4
N <sub>Rd</sub> (N)	-1.527E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-6.051E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.391E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-6.058E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.003	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.56	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.56

CHECK PASSED

#### Axial force and bending moment stresses of gross cross section

#### Stresses of gross cross section (Mmax comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	-0.3	0	1.2	0	0.8	0	0	1.4	0	-1.8	0	0	0
σ <sub>7</sub>	0	-5.2	-10.3	-8.9	9	13.6	20.5	19.2	-10.4	11.2	-7.9	-38.3	-8	0.02
σ <sub>6</sub>	0	1.2	1.5	-6.6	0	8.2	10.5	12	-8.7	0	6.1	11.3	23.2	0.059
σ <sub>5</sub>	0	-0.2	0	1.2	0	0.7	0	0	1.5	0	-0.8	0	0	0
σ <sub>4</sub>	-263.5	-4.3	-9	-8.6	8	12.8	19.4	-245.1	-10	9.9	-5	-32.8	-268	0.793
σ <sub>3</sub>	-251	-4	-8.5	-8.5	7.6	12.5	18.9	-232.9	-9.9	9.5	-3.9	-30.7	-254.1	0.752

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_2$	0	1.2	1.5	-6.6	0	8.2	10.5	12	-8.7	0	6.1	11.3	23.2	0.069
$\sigma_1$	192.8	8.5	9.5	-4	-6.1	1.9	3.7	199.8	-5.1	-7.6	35.5	44.8	237.1	0.701
$\sigma_0$	212.8	9.1	10.3	-3.8	-6.7	1.4	3	219.4	-4.9	-8.3	37.2	48.2	259.3	0.767

Maximum utilization ratio: 0.793 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.62 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.67 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.19 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 2.32 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 91.622 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 50.238 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance:  **$V_{b,Rd} = 1.206E+6$  N**

With:

$a/h_w = 3.274$ ,  $\eta = 1.2$ ,  $K_\tau = 5.713$   
 web contribution:  $V_{bw,Rd} = 1.125E+6$  N, flanges contribution:  $V_{bf,Rd} = 8.048E+4$  N  
 $\chi_w = 0.659$ ,  $\lambda_w = 1.259$ ,  $\tau_{cr} = 129.3$ ,  $C = 1070.2$   
 $M_{Ed} = -3.391E+6$  Nm,  $M_{f,Rd} = -4.688E+6$  Nm,  $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.723$

Plastic resistance:  **$V_{pl,Rd} = 2.146E+6$  N**

Shear resistance:  **$V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.206E+6$  N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0, \quad (= \Rightarrow \text{CHECK VERIFIED})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0, \quad \eta_1 = M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.56$$

### Interaction between shear force, bending moment and axial force

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### U.L.S. composite section verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-2.78E+6	0E+00
2a	0E+00	0E+00	-1.16E+5	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-1.1E+5	0E+00
Therm.Iso	5.38E+5	0	1.69E+5	0
3b	0E+00	0E+00	-1.03E+6	0E+00
Total	5.38E+5	0E+00	-3.87E+6	0E+00

### Bending resistance - Plastic analysis

#### Section classification (Mmin comb.)

	$c/t$	$z_{pl}$ (mm)	$\alpha$	$\psi$	Class
--	-------	---------------	----------	--------	-------



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Web	91.62	925.54	0	-1	1
Top flange	7.79				2
Bottom flange	4.25				1
Section class					2
Plastic analysis: APPLICABLE					

**Plastic section verification (Mmin comb.)**

Axial force		Bending moment		N/M interaction	
N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.875E+6	N <sub>Ed</sub> (N)	5.377E+5
N <sub>Rd</sub> (N)	1.141E+7	M <sub>Rd</sub> (Nm)	-6.051E+6	M <sub>Ed</sub> (Nm)	-3.875E+6
				M <sub>Rd</sub> (Nm)	-5.941E+6
N <sub>Ed</sub> /N <sub>Rd</sub>	0.047	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.64	M <sub>Ed</sub> /M <sub>Rd</sub>	0.652
CHECK PASSED					

*Axial force and bending moment stresses of gross cross section*

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	η <sub>1</sub>
σ <sub>8</sub>	0	-0.4	0	0	0	0	0	-0.4	-1.4	0	-6	0	-7.7	0.341
σ <sub>7</sub>	0	-6.4	-11.8	0	0	0	0	-6.4	10.4	-11.2	-29.7	-104.9	-25.7	0.066
σ <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	8.7	0	0	0	8.7	0.022
σ <sub>5</sub>	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-1.5	0	-3.9	0	-5.7	0.252
σ <sub>4</sub>	-263.5	-5.5	-10.5	0	0	0	0	-269	10	-9.9	-23.5	-93.1	-282.5	0.836
σ <sub>3</sub>	-251	-5.1	-10	0	0	0	0	-256.1	9.9	-9.5	-21.2	-88.6	-267.4	0.791
σ <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	8.7	0	0	0	8.7	0.026
σ <sub>1</sub>	192.8	7.4	8	0	0	0	0	200.1	5.1	7.6	62.1	71	267.3	0.791
σ <sub>0</sub>	212.8	7.9	8.8	0	0	0	0	220.7	4.9	8.3	65.8	78.2	291.4	0.862

Maximum utilization ratio: 0.862 NOT RELEVANT CHECK

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.41 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.3 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -7.73 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -5.71 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

Resistance to shear

Evaluation of necessity to Shear buckling check

$$h_w/t_w = 91.622 > 31/\eta * \epsilon_w * (K \tau)^{0.5} = 50.238 \quad \text{Shear Buckling check: REQUIRED}$$

Shear Buckling resistance: **V<sub>b,Rd</sub> = 1.172E+6 N**

With:

a/h<sub>w</sub> = 3.274, η = 1.2, K<sub>τ</sub> = 5.713  
 web contribution: V<sub>bw,Rd</sub> = 1.125E+6 N, flanges contribution: V<sub>bf,Rd</sub> = 4.643E+4 N  
 χ<sub>w</sub> = 0.659, λ<sub>w</sub> = 1.259, τ<sub>cr</sub> = 129.3, C = 1070.2  
 M<sub>Ed</sub> = -3.875E+6 Nm, M<sub>f,Rd</sub> = -4.551E+6 Nm, M<sub>Ed</sub>/M<sub>f,Rd</sub> = 0.851

Plastic resistance: **V<sub>pl,Rd</sub> = 2.146E+6 N**

Shear resistance: **V<sub>Rd</sub> = min(V<sub>pl,Rd</sub>, V<sub>b,Rd</sub>) = 1.172E+6 N**

Utilization ratios:

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0, \quad (=> \text{CHECK VERIFIED})$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0, \quad \eta_1 = M_{Ed} / M_{Rd} = 0.652$$

*Interaction between shear force, bending moment and axial force*

Evaluation of the interaction

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

INTERACTION NOT TO BE CHECKED

### **SLS stresses verification (Mmax comb.)**

#### **Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-2.06E+6	0E+00
2a	3.75E+4	0E+00	-8.62E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.08E+5	0
2c	2.35E+5	0E+00	6.6E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	-3.58E+5	0	-1.13E+5	0
3b	3.44E+5	0E+00	-3.82E+5	0E+00
Total	1.87E+4	0E+00	-2.54E+6	0E+00

#### **Stresses of gross cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	-0.3	0	1	0	0.5	0	0	0.9	0	-1.3	0	0	0	0
$\sigma_7$	0	-3.9	-7.6	-7.4	7.5	9.1	13.7	13.5	-6.9	7.5	-5.4	-28.6	-7.6	7.6	0.021
$\sigma_6$	0	0.9	1.1	-5.5	0	5.4	7	8.1	-5.8	0	5.5	10.2	18.3	18.3	0.051
$\sigma_5$	0	-0.2	0	1	0	0.5	0	0	1	0	-0.5	0	0	0	0
$\sigma_4$	-195.2	-3.2	-6.7	-7.2	6.6	8.6	12.9	-182.3	-6.7	6.6	-3.2	-24.2	-199.9	199.9	0.563
$\sigma_3$	-185.9	-2.9	-6.3	-7.1	6.3	8.4	12.6	-173.2	-6.6	6.3	-2.3	-22.6	-189.5	189.5	0.534
$\sigma_2$	0	0.9	1.1	-5.5	0	5.4	7	8.1	-5.8	0	5.5	10.2	18.3	18.3	0.052
$\sigma_1$	142.8	6.3	7	-3.3	-5.1	1.3	2.4	147.2	-3.4	-5	28.5	36.5	178.6	178.6	0.503
$\sigma_0$	157.6	6.7	7.6	-3.2	-5.6	0.9	2	161.7	-3.3	-5.6	29.9	39.1	195.2	195.2	0.55
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.563 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.25 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.3 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0.88 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 1.76 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### **SLS stresses verification (Mmin comb.)**

#### **Forces and moments (Mmin comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-2.06E+6	0E+00
2a	0E+00	0E+00	-8.62E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-7.35E+4	0E+00
Therm.Iso	3.58E+5	0	1.13E+5	0
3b	0E+00	0E+00	-7.45E+5	0E+00
Total	3.58E+5	0E+00	-2.85E+6	0E+00

**Stresses of gross cross section (Mmin comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot	$\sigma_d$	$\eta_1$
$\sigma_8$	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-0.9	0	-4.3	0	-5.5	5.5	0.23
$\sigma_7$	0	-4.7	-8.8	0	0	0	0	-4.7	6.9	-7.5	-21.4	-75.6	-19.2	19.2	0.053
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	5.8	5.8	0.016
$\sigma_5$	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.2	-1	0	-2.8	0	-4	4	0.168
$\sigma_4$	-195.2	-4.1	-7.8	0	0	0	0	-199.2	6.7	-6.6	-17	-67.2	-209.6	209.6	0.59
$\sigma_3$	-185.9	-3.8	-7.4	0	0	0	0	-189.7	6.6	-6.3	-15.3	-63.9	-198.4	198.4	0.559
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	5.8	5.8	0.016
$\sigma_1$	142.8	5.5	5.9	0	0	0	0	148.2	3.4	5	44.8	51.2	196.4	196.4	0.553
$\sigma_0$	157.6	5.9	6.5	0	0	0	0	163.5	3.3	5.6	47.5	56.4	214.2	214.2	0.603
$\tau_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
$\tau_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Maximum utilization ratio:0.603 CHECK PASSED

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.3 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.23 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -5.51 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -4.04 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

**SLS web breathing verification (Mmax comb.)**

**Forces and moments (Mmax comb.)**

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-2.06E+6	0E+00
2a	3.75E+4	0E+00	-8.62E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	7.38E+4	0E+00
Shr.Iso	-2.39E+5	0	-1.08E+5	0
2c	1.96E+5	0E+00	5.5E+4	0E+00
3a	0E+00	0E+00	6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	-2.99E+5	0	-9.42E+4	0
3b	1.52E+5	0E+00	-4.23E+5	0E+00
Total	-1.53E+5	0E+00	-2.58E+6	0E+00

**Stresses of effective cross section (Mmax comb.)**

	Ph. 1	Ph. 2a Uncracked	Ph. 2a Cracked	Ph. 2b Uncracked	Ph. 2b Cracked	Ph. 2c Uncracked	Ph. 2c Cracked	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncracked	Ph. 3a Cracked	Ph. 3b Uncracked	Ph. 3b Cracked	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	-0.3	0	1	0	0.4	0	0	0.8	0	-2	0	0
$\sigma_7$	0	-3.9	-7.6	-7.4	7.5	7.6	11.4	11.2	-5.8	6.2	-9.7	-38.4	-21
$\sigma_6$	0	0.9	1.1	-5.5	0	4.5	5.8	6.9	-4.8	0	2.4	4.5	11.4
$\sigma_5$	0	-0.2	0	1	0	0.4	0	0	0.8	0	-1.2	0	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_4$	-195.3	-3.2	-6.7	-7.2	6.7	7.1	10.8	-184.6	-5.6	5.5	-7.2	-33.6	-212.7
$\sigma_3$	-186.1	-2.9	-6.3	-7.1	6.3	7	10.5	-175.5	-5.5	5.3	-6.2	-31.8	-202
$\sigma_2$	0	0.9	1.1	-5.5	0	4.5	5.8	6.9	-4.8	0	2.4	4.5	11.4
$\sigma_1$	142.8	6.3	7	-3.3	-5.1	1.1	2	146.8	-2.8	-4.2	27.8	33.5	176.1
$\sigma_0$	157.6	6.7	7.6	-3.2	-5.6	0.8	1.6	161.3	-2.7	-4.6	29.4	36.5	193.2

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.16 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = 1.22 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Cracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -0.11 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = 0.85 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Cracked ( m.)

### Web assessment (Mmax comb.)

	Web
b (mm)	916.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-201.83
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	176.12
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	201.83
$K_{\sigma}$	20.75
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.63
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}$ (P) ( N/mm <sup>2</sup> )	469.55
$\sigma_{cr}$ (C) ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	469.55
$K_{\tau}$	5.71
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.43
Result	CHECK VERIFIED

### SLS web breathing verification (Mmin comb.)

#### Forces and moments (Mmin comb.)

Phase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
1	0E+00	0E+00	-2.06E+6	0E+00
2a	0E+00	0E+00	-8.62E+4	0E+00
2b	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
Shr.Iso	0E+00	0	0E+00	0
2c	0E+00	0E+00	0E+00	0E+00
3a	0E+00	0E+00	-6.12E+4	0E+00
Therm.Iso	2.99E+5	0	9.42E+4	0
3b	0E+00	0E+00	-4.23E+5	0E+00
Total	2.99E+5	0E+00	-2.54E+6	0E+00

#### Stresses of effective cross section (Mmin comb.)

	Ph. 1	Ph. 2a Uncrack ed	Ph. 2a Crack ed	Ph. 2b Uncrack ed	Ph. 2b Crack ed	Ph. 2c Uncrack ed	Ph. 2c Crack ed	Ph. 2 tot	Ph. 3a Uncrack ed	Ph. 3a Crack ed	Ph. 3b Uncrack ed	Ph. 3b Crack ed	Ph. 3 tot
$\sigma_8$	0	-0.3	0	0	0	0	0	-0.3	-0.8	0	-2.4	0	-3.5
$\sigma_7$	0	-4.7	-8.8	0	0	0	0	-4.7	5.8	-6.2	-12.1	-42.9	-11.1
$\sigma_6$	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	4.8
$\sigma_5$	0	-0.2	0	0	0	0	0	-0.2	-0.8	0	-1.6	0	-2.7
$\sigma_4$	-195.2	-4.1	-7.8	0	0	0	0	-199.2	5.6	-5.5	-9.6	-38.1	-203.3

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

$\sigma_3$	-185.9	-3.8	-7.4	0	0	0	0	-189.7	5.5	-5.3	-8.7	-36.3	-192.9
$\sigma_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0	4.8
$\sigma_1$	142.8	5.5	5.9	0	0	0	0	148.2	2.8	4.2	25.4	29	176.5
$\sigma_0$	157.6	5.9	6.5	0	0	0	0	163.5	2.7	4.6	26.9	32	193.1

NOTE:

- 1) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.3 N/mm<sup>2</sup>
- 2) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 2 = -0.23 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 2 is considered: Uncracked ( m.)
- 3) Total stress at the top fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -3.5 N/mm<sup>2</sup>
- 4) Total stress at the bottom fibre of slab concrete at the end of phase 3 = -2.65 N/mm<sup>2</sup>  
The section at the end of phase 3 is considered: Uncracked ( m.)

### Web assessment (Mmin comb.)

	Web
b (mm)	916.2
$\sigma_{sup}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	-192.88
$\sigma_{inf}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	176.46
$\sigma_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	192.88
$K_\sigma$	21.75
$\sigma_{cr0E}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	22.63
$\tau_{Ed}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	0
$\sigma_{cr}(P)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	492.26
$\sigma_{cr}(C)$ ( N/mm <sup>2</sup> )	2
$\xi$	1
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	492.26
$K_\tau$	5.71
$K_{\tau sl}$	0
Utilization ratio	0.392
Result	CHECK VERIFIED

### Shear connectors assessment

#### Main data

Number of studs for unit length, $n$ (m <sup>-1</sup> )	10
Stud diameter, $d$ (mm)	16
Stud height, $h$ (mm)	75
Ultimate resistance of studs $\alpha$	1
Partial safety factor, $\gamma_v$	1.25
Ultimate resistance of studs $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	450
Coefficient $E_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35220
Characteristic cylinder compressive strength, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	40

#### Resistance of headed stud connectors

Shank shear resistance, $P_{Rd1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 / \gamma_v$ , (N)	57905.84
Concrete crushing resistance, $P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ , (N)	70494.54
Design stud resistance $P_{Rd} = \text{Min}( P_{Rd1}, P_{Rd2} )$ , (N)	57905.84

#### Elastic assessment at ULS

##### Utilization ratio (Mmax comb.)

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s$ (N/mm)	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed}$ (N/mm)	0
Utilization ratio $v_{Ed} / v_{Rd}$	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**CHECK VERIFIED**

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Phase 3b	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	579.1
Reduction factor, $\kappa_s$	1.00
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0

**CHECK VERIFIED**

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Phase 3b	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Sum				0

Elastic assessment at ELS

**Utilization ratio (Mmax comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0

**CHECK VERIFIED**

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmax comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Phase 3b	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Sum				0

**Utilization ratio (Mmin comb.)**

Design stud resistance for unit length, $v_{Rd} = n P_{Rd} \kappa_s (N/mm)$	347.4
Reduction factor, $\kappa_s$	0.6
Shear force per unit length at steel-concrete interface $v_{Ed} (N/mm)$	0
Utilization ratio $v_{Ed}/v_{Rd}$	0

**CHECK VERIFIED**

**Shear force per unit length at steel-concrete interface (Mmin comb.)**

Phase	$V_{Ed} (N)$	$S_{y,4} (mm^3)$	$J_y (mm^4)$	$V_{Ed} (N/mm)$
Phase 2a	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 2b	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Phase 2c	0E+00	4.537E+6	8.246E+9	0
Phase 3a	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Phase 3b	0E+00	9.13E+6	1.099E+10	0
Sum				0

## Stiffeners checks

### Torsional buckling of vertical stiffeners

	Vertical stiffeners
	CHECK PASSED
u.r.	0.898
Type	Vert. (R)
$\sigma_{cr}$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$\phi \cdot f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	--
$I_{cr}$ (mm <sup>4</sup> )	--
$I_w$ (mm <sup>6</sup> )	--
$I_T$ (mm <sup>4</sup> )	1.688E+5
$I_P$ (mm <sup>4</sup> )	1.692E+7
$I_T/I_P$	0.01
$5.3 f_y/E$	0.009
$c\theta$ (N)	--
$E$ ( N/mm <sup>2</sup> )	210000
$f_y$ ( N/mm <sup>2</sup> )	355
$G$ ( N/mm <sup>2</sup> )	87500
$a$ (mm)	3000

### Intermediate vertical stiffeners acting as rigid support for web panels

$$I_{st} = 1.195E+7 \text{ mm}^4 > I_{st \text{ min}} = 0.75 h_w t_w^3 = 6.872E+5 \text{ mm}^4$$

CHECK PASSED

With:

$$t_w = 10 \text{ mm} \quad b_w = 259.1 \text{ mm} \quad A_{st} = 4840.8 \text{ mm}^2 \quad e_1 = 37.2 \text{ mm}^2$$

$$a = 3000 \text{ mm} \quad h_w = 916.219419662924 \text{ mm} \quad a/h_w = 3.274$$

### Maximum stress and the additional deflection in the vertical stiffeners (Mmax comb.)

$$w = 0 < 3.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 0.2 < 322.7 \text{ N/mm}^2$$

CHECK PASSED

With:

$$\Sigma N_{st,Ed} = N_{st,Ed} + \Delta N_{st,Ed} = 0E+00 + 1.864E+4 = 1.864E+4 \text{ N}$$

$$N_{st,Ed} = N_{st,ten} + N_{st,ex} = 0E+00 + 0E+00 = 0E+00 \text{ N}$$

$$\sigma_m = 0.219 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{cr(C)}/\sigma_{cr(P)} = 2/1E+300 = 0 \Rightarrow 0.5$$

$$N_{Ed} = 6.022E+5 \text{ N} \quad \lambda_w = 1.259$$

$$N_{cr,st} = 2.95E+7 \text{ N} \quad e_1 = 37.2 \text{ mm} \quad e_{\text{max}} = 117.8 \text{ mm} \quad w_0 = 3.05 \text{ mm}$$

$$\delta_m = 0$$

$$(I_{vst \text{ min}} = 2.833E+4(\text{mm}^4) \quad u = 2.753)$$

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

---



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.7. Riassunto verifiche travi

Si riportano di seguito i diagrammi dei seguenti rapporti di sfruttamento:

### max $\eta$ assoluto

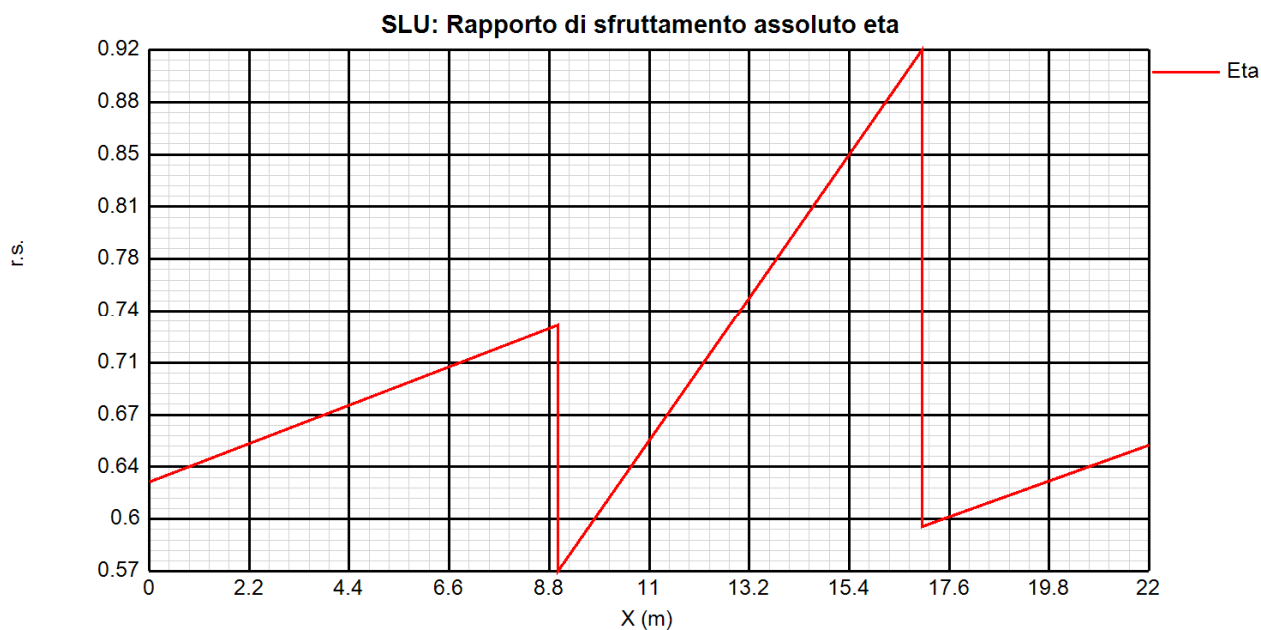
Derivante dall'interazione N/M/V (EN1993-1-5, 7.1.(1)); nei casi in cui non vi è interazione, tale valore coincide con il rapporto di sfruttamento a flessione  $\eta_1$ .

### max $\eta_1/\eta_1$

Rapporto di sfruttamento a flessione; nell'ambito delle condizioni di applicabilità dell'analisi plastica, esso coincide con il rapporto  $\eta_1 = M_{Ed}/M_{pl}$  (rapporto di sfruttamento plastico); in tutti gli altri casi è pari a  $\eta_1 = \sigma_{Ed}/(\gamma_{m0}f_{yk})$ . I rapporti di sfruttamento a flessione, rispettivamente elastici e plastici vengono tracciati indipendentemente dal campo di applicabilità; in ogni caso, il valore considerato nel calcolo del rapporto di sfruttamento assoluto considera di volta in volta il rapporto elastico/plastico in funzione degli effettivi limiti di applicabilità.

### max $\eta_3$

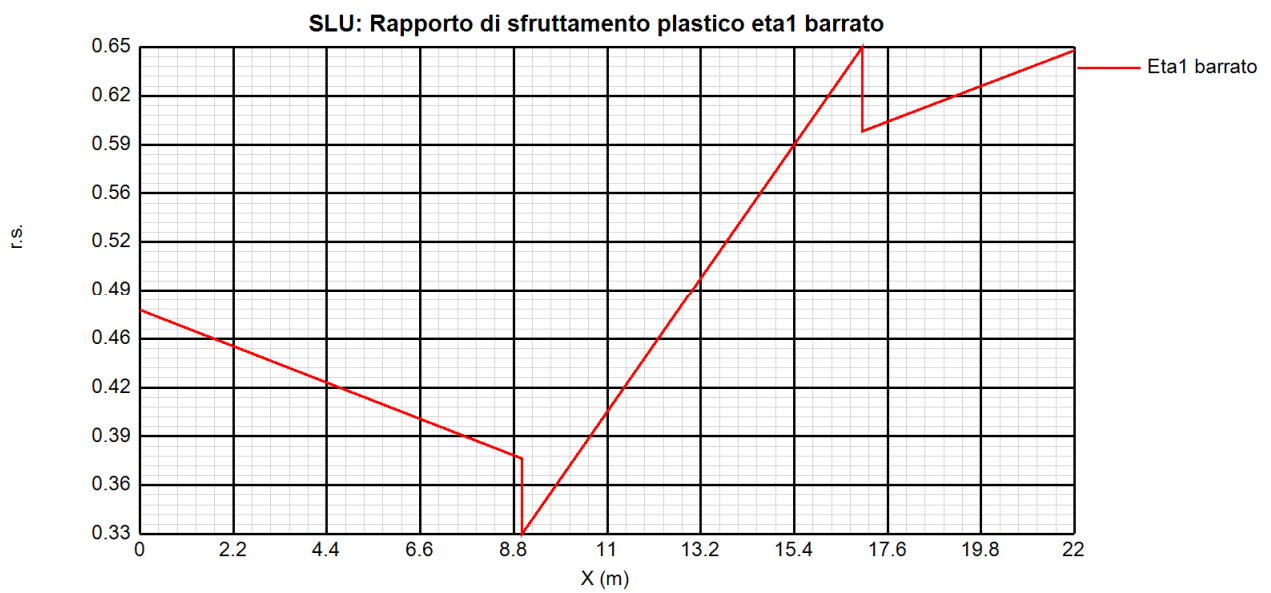
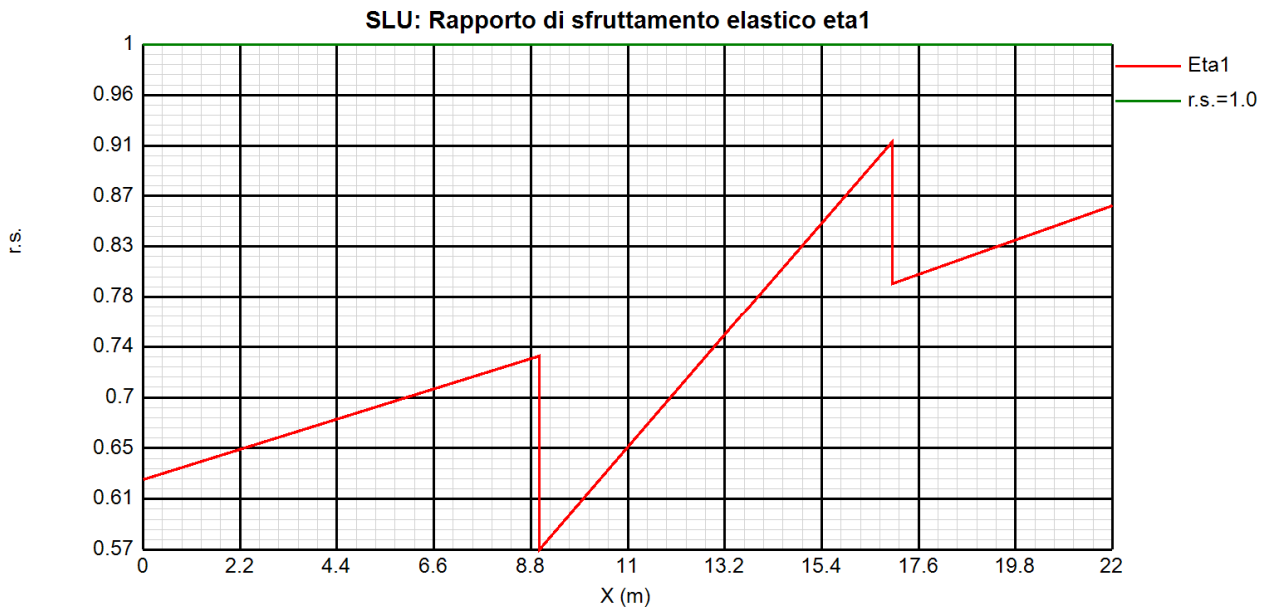
Rapporto di sfruttamento a taglio  $\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd}$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

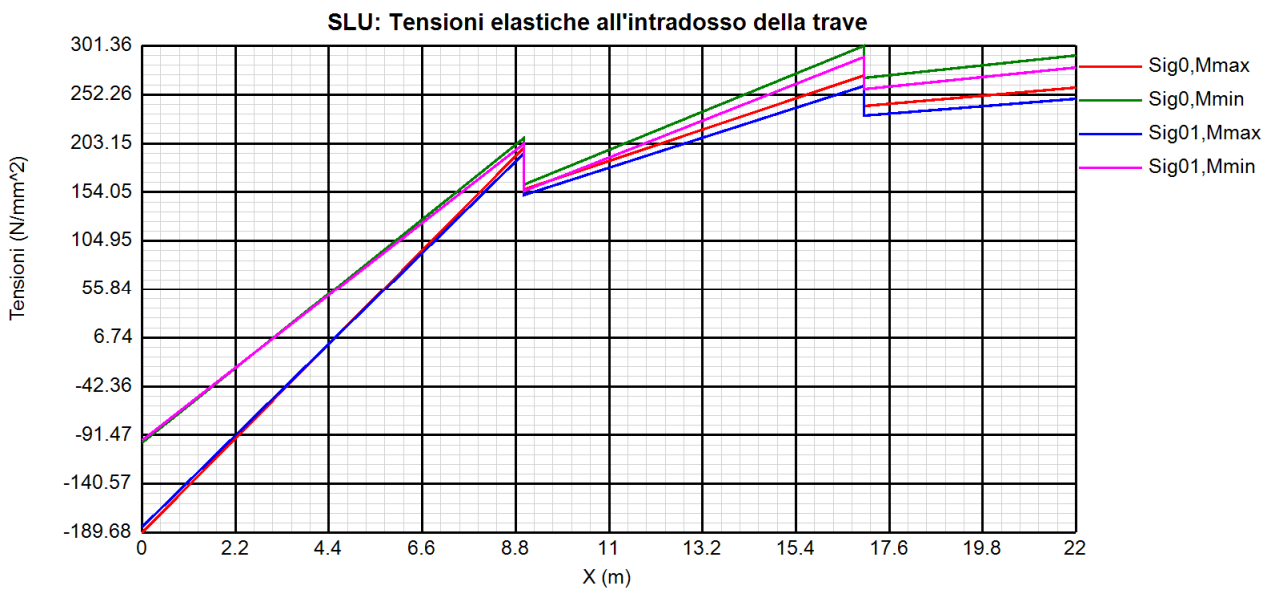
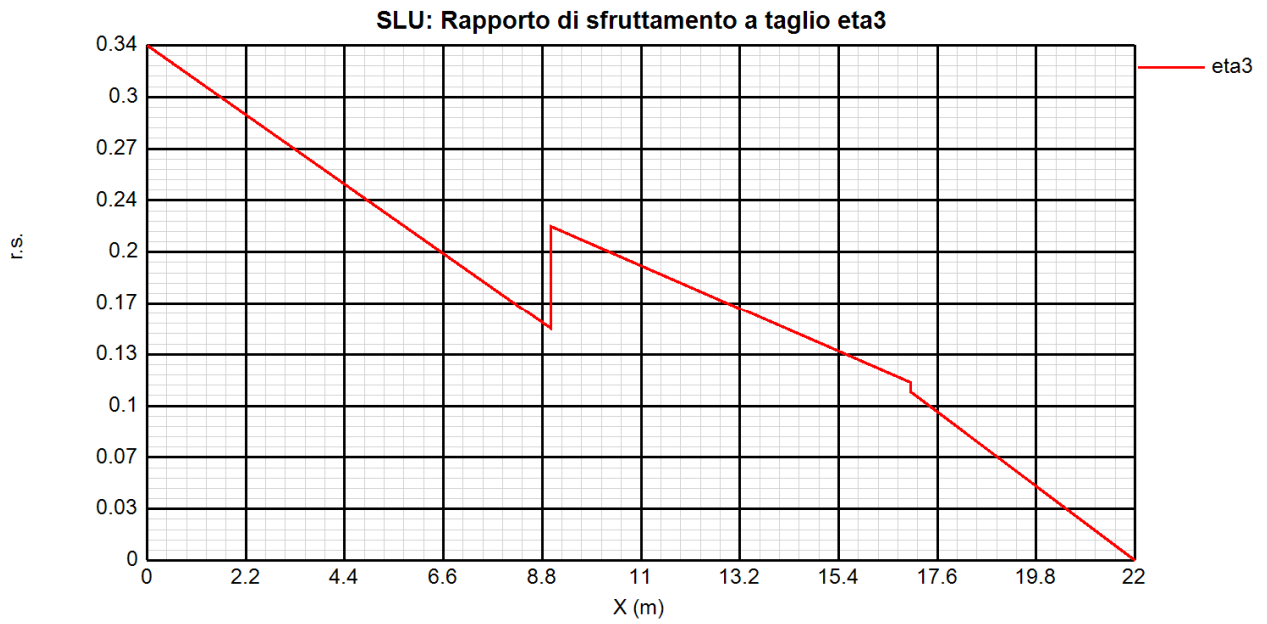
Relazione di calcolo strutturale



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

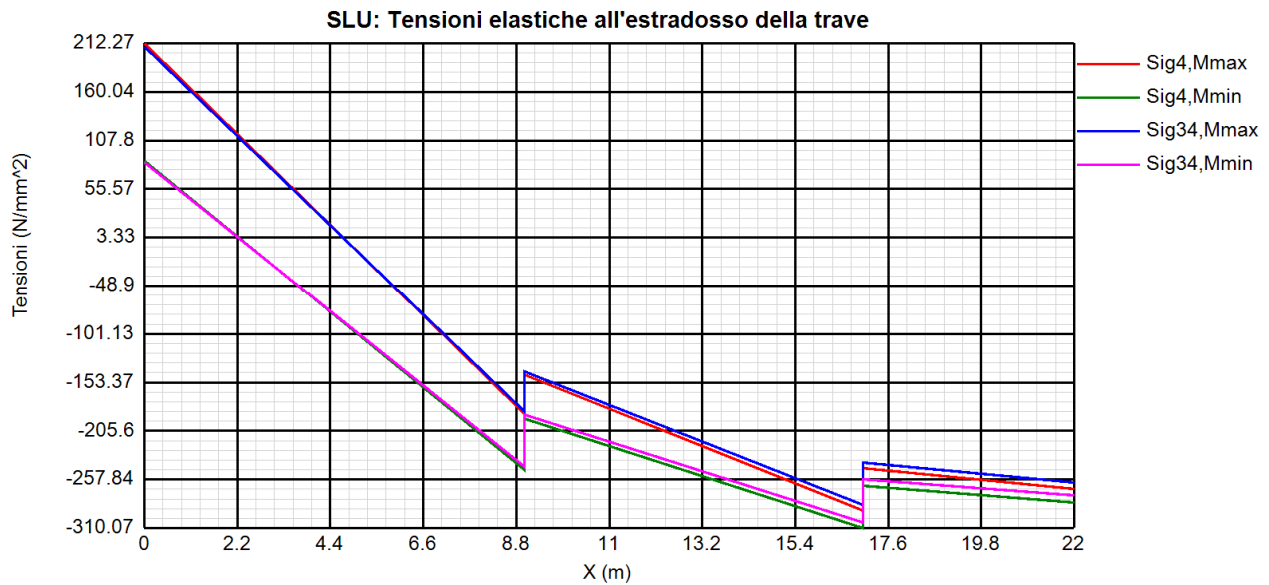
Relazione di calcolo strutturale



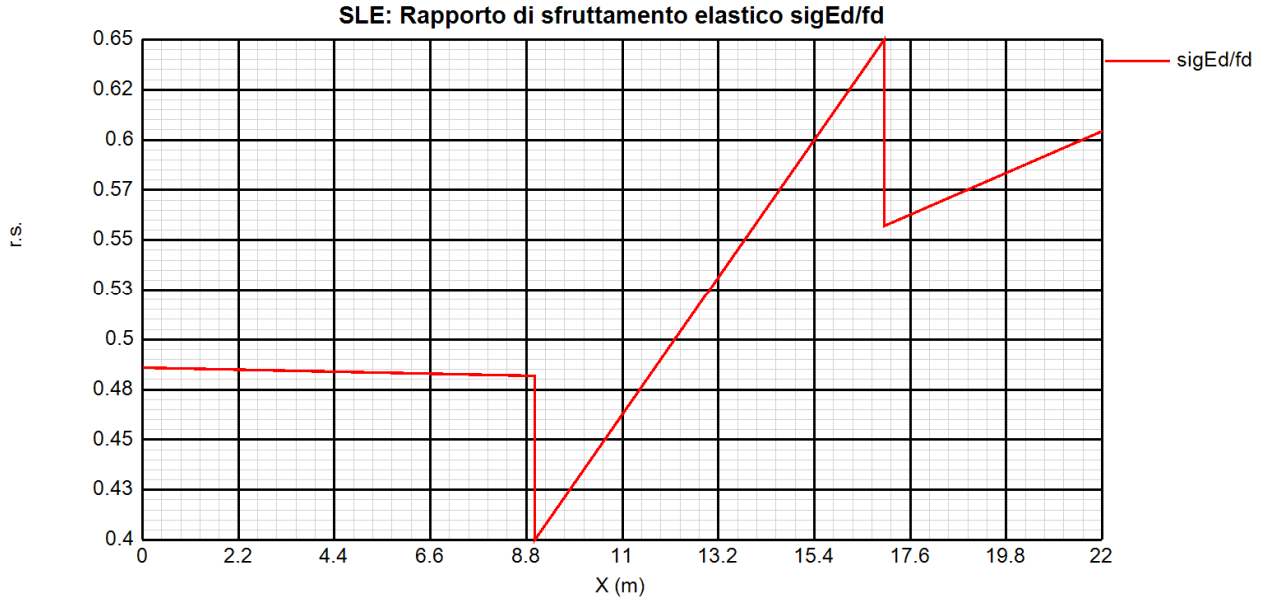
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



Di seguito si riporta l'andamento del rapporto di sfruttamento S.L.E. tra tensione di Von Mises e tensione di riferimento.



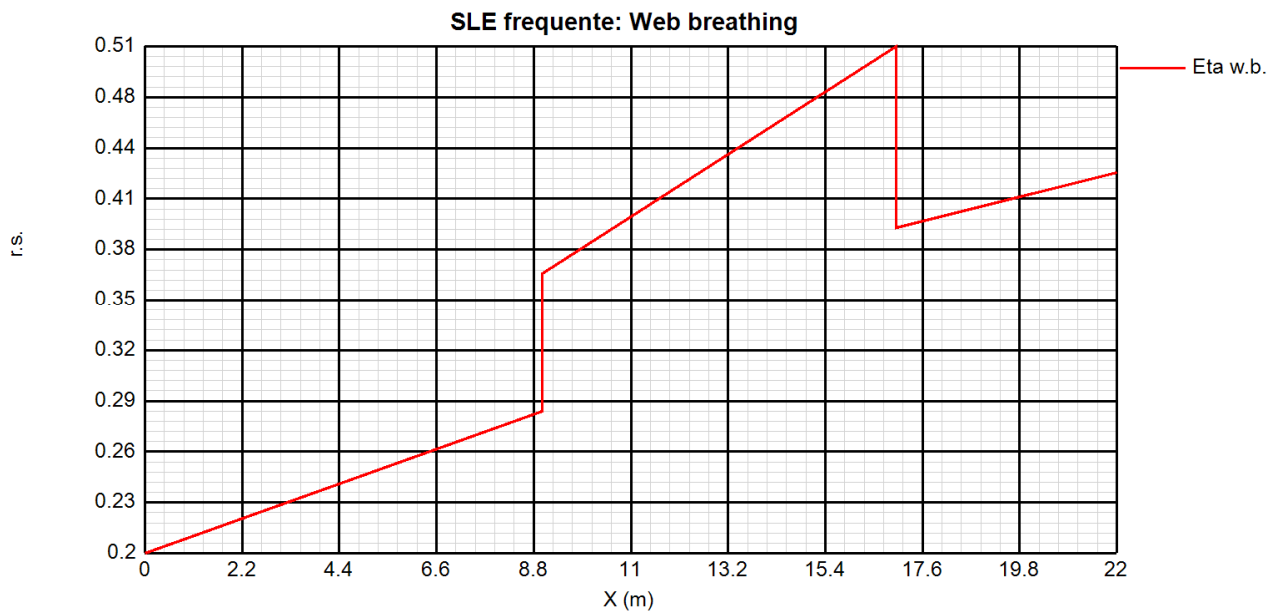
La verifica risulta essere soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Relativamente alla verifica di Web Breathing, i diagrammi seguenti riportano l'andamento del rapporto di sfruttamento.



Anche in questo caso la verifica risulta essere soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.1.8. Verifica a fessurazione soletta in direzione longitudinale

Si riporta di seguito la verifica a fessurazione della soletta riguardante le armature della soletta in direzione longitudinale. Si specifica che è il cls dei cordoli della soletta, dimensionanti nella verifica in oggetto, di tipo XC4-XD3-XF4, determinano una condizione molto aggressiva per le condizioni ambientali con limitazione a  $w=0.2\text{mm}$  in combinazione frequente.

La verifica viene svolta automaticamente dal software utilizzando il metodo tabellare, determinando quindi una massima tensione "ammissibile" sulle barre in relazione all'esposizione assunta.

I medesimi requisiti sono previsti da EN 1994-2 cap. 7.4.1.

Per le verifiche nei confronti dello S.L. di fessurazione si seguono in criteri proposti da EN-1994-2, afferenti ad un ciclo più sistematico di verifiche. L'esame dello S.L. prevede i seguenti passi:

verifica presenza minimi quantitativi di armatura (EN 1994-2 cap. 7.4.2.)

controllo dell'ampiezza delle fessure per effetto dei carichi indiretti (EN 1994-2 cap. 7.4.2.)

controllo dell'ampiezza delle fessure per effetto dei carichi indiretti (EN 1994-2 cap. 7.4.3.)

Le verifiche vengono effettuate in automatico dal programma Ponti EC4.

Di seguito si riportano le modalità di espletamento delle verifiche su indicate.

Minimo quantitativi di armatura

Si considera quanto previsto in EN 1994-2, cap. 7.4.2.(1)/Istruzioni NTC-08 cap. 4.1.2.2.4.6. Il minimo quantitativo di armatura da prevedersi ai fini del contenimento delle azioni indirette, in combinazione o meno di altre azioni dirette è dato da:

$$A_{s,\min} = k_s k_c k_f f_{ct,\text{eff}} \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$
$$k_c = \frac{1}{1 + \frac{h_c}{2z_0}} + 0.3 \leq 1$$
$$k_s = 0.9$$
$$k = 0.8$$
$$f_{ct,\text{eff}} = f_{ctm}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Controllo fessurazione per carichi indiretti

La verifica viene eseguita per per la combinazione S.L.E. caratteristica e consiste nel confronto della tensione nelle armature per carichi indiretti  $\sigma_s$  con quella di riferimento prevista nelle tabelle 7.1/7.2 di EN 1994-2 (tab. C.4.1.II/C.4.1.III delle Istruzioni NTC-08), in funzione del diametro/passo delle barre e dell'ampiezza di fessura limite, e che di seguito vengono riportate.

Steel stress $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	Maximum bar diameter $\phi^*$ (mm) for design crack width $w_k$		
	$w_k=0.4\text{mm}$	$w_k=0.3\text{mm}$	$w_k=0.2\text{mm}$
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Steel stress $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	Maximum bar spacing (mm) for design crack width $w_k$		
	$w_k=0.4\text{mm}$	$w_k=0.3\text{mm}$	$w_k=0.2\text{mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

La tensione per carichi indiretti viene valutata con riferimento alla medesima formula impiegata per la deduzione del minimo quantitativo di armatura, riformulata nel seguente modo:

$$\text{Carichi indiretti } \sigma_s = k_s k_c k_{f_{ct,eff}} \frac{A_{ct}}{A_{s, reale}}$$

Il controllo viene effettuato interpolando linearmente sui valori delle tabelle 71-7.2 per  $w_k = 0.2 \text{ mm}$ .

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Controllo fessurazione per carichi diretti

Il controllo della fessurazione sotto carichi diretti viene effettuato con riferimento a EN 1994-2 cap. 7.4.3., confrontando la tensione nell'acciaio per la combinazione di carico S.L.E. frequente, incrementata del contributo del tension stiffening con il valore limite tabellare riferito all'effettivo diametro/passo delle armature ricavato dalle tabelle 7.1/7.2 del medesimo capitolo EN.

Il contributo del tension stiffening viene così calcolato con l'impiego delle relazioni proposte in EN 1994-2 cap. 7.4.3(3):

$$\Delta\sigma_s = \frac{0.4 f_{ctm}}{\alpha_{st} \rho_s}$$

con:

$$f_{ctm} = 3.2 \text{ Mpa}$$

$$\rho_s = A_{steel}/A_{ct}$$

$$\alpha_{st} = \frac{A I}{A_a I_a}$$

$A, I$  area ed inerzia della sezione completa, valutata trascurando il calcestruzzo in trazione

$A_a, I_a$  area ed inerzia della sezione metallica

La verifica per la sezione di spalla risulta quindi:

Sezione	z0 fase3 (mm)	kc	Act (mm <sup>2</sup> )	As,min (mm <sup>2</sup> )	As, reale (mm <sup>2</sup> )	Verifica (As min)	fimax/pmax	Sigc rara (N/mm <sup>2</sup> )	Stato (c. rara)	Sig.s (N/mm <sup>2</sup> )	Ft* (mm)	Sig am(F) (N/mm <sup>2</sup> )	Sig am (g) (N/mm <sup>2</sup> )	Verifica (carichi indiretti)	Sigs max freq (N/mm <sup>2</sup> )	Tension stiff. (N/mm <sup>2</sup> )	Sgs+DSig	Verifica (carichi diretti)	Sezione
Sez. 1_1	260	1	170690	958	4125	SI	20\200	11.43	Fess.	105	16.53	198	160	SI (0.53)	112	38	150	SI (0.76)	Sez. 1_1



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 12.1.9. Contromonte di progetto

Nel presente paragrafo vengono riportate le massime deformazioni verticali subite dalle travi di impalcato in condizioni di esercizio.

### **Quadro di deformabilità di progetto relativo alle travi principali**

Di seguito si riportano i principali risultati inerenti la deformabilità dell'impalcato.

Viene esaminato il contributo apportato dai seguenti carichi:

- Peso proprio acciaio + Peso getto soletta (fase 1);
- Sovraccarichi permanenti e spinta delle terre (fase 2a);
- Carichi mobili (fase 3b) (combinati al 25%)

Nel seguito, relativamente alle travi principali, vengono riportate le deformate relative ai sopraccitati carichi, con l'indicazione del valore massimo di freccia riscontrato (espresso in m) in corrispondenza dei cambi concio della spalla e della mezzeria.

### **Contromonte di progetto**

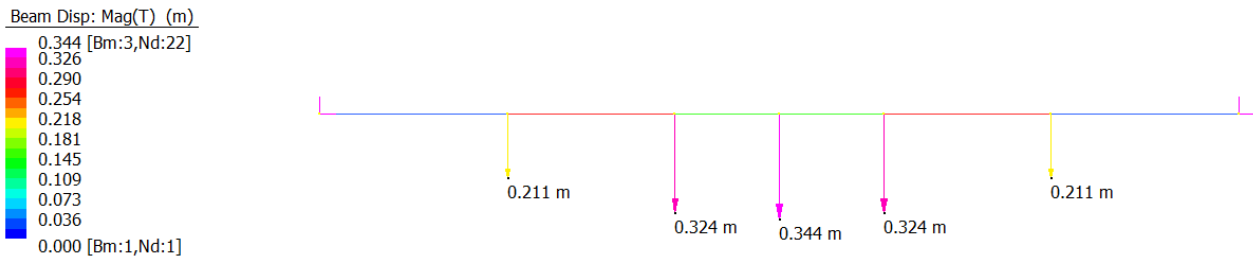
La contrefreccia da assegnare all'impalcato nella fase di montaggio è stata calcolata in modo da recuperare il 100% degli abbassamenti dovuti ai carichi strutturali e ai permanenti portati, sommato il 25% degli abbassamenti dovuti al carico da traffico. Di seguito sono riportati i valori di contromonte adottati (espressi in mm) ed il grafico delle contrefrecce da assegnare ai vari conci.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

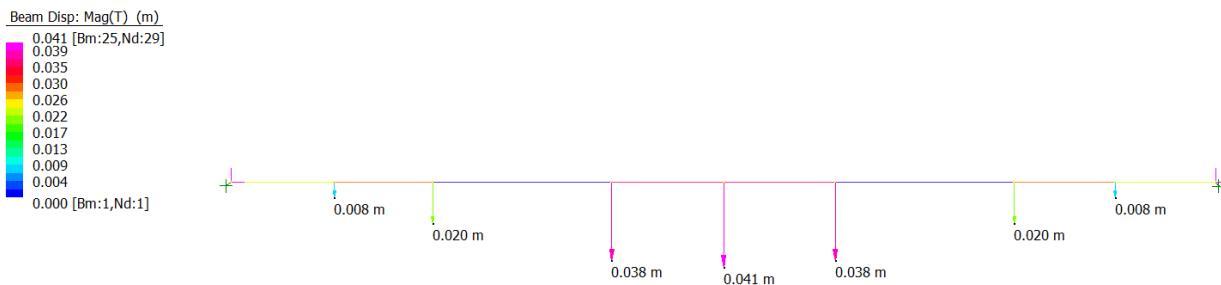
Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Spostamento per Pesì strutturali:



- Spostamento per carichi da traffico:



La tabella degli spostamenti risulta:

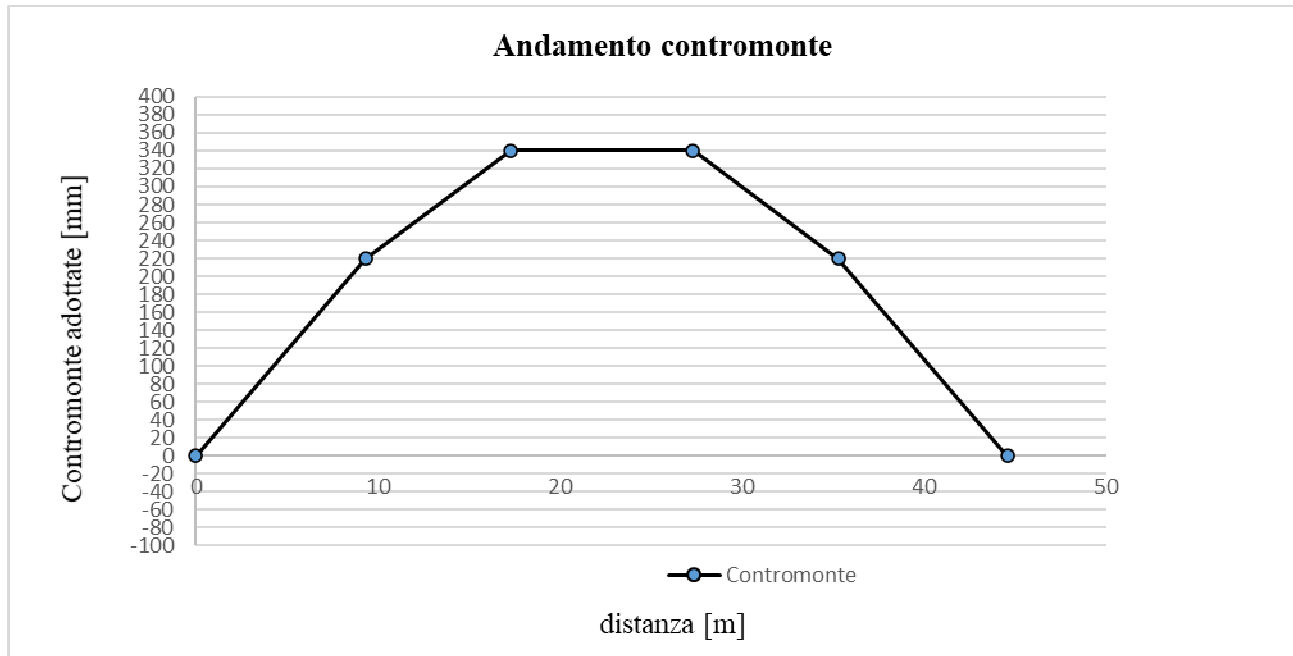
	DEFORMAZIONI VERTICALI IN FASE DI ESERCIZIO						
	Spalla A	Concio A-B	Concio B-C	Mezzeria	Concio C-D	Concio D-E	Spalla B
<b>Strutt [m]</b>	0.000	0.210	0.324	0.344	0.320	0.210	0.000
<b>PP [m]</b>	0.000	0.003	0.007	0.007	0.007	0.003	0.000
<b>traffico [m]</b>	0.000	0.020	0.038	0.041	0.038	0.020	0.000
<b>TOT [m]</b>	0.000	0.218	0.341	0.361	0.337	0.218	0.000
<b>TOT [mm]</b>	0	218	341	361	337	218	0
<b>Progr. Long. [m]</b>	0	9.3	17.3	22.3	27.3	35.3	44.6

	spalla A	Concio A-B	Concio B-C	Mezzeria	Concio B-C	Concio C-D	Concio E-F
<b>Contromonte adottate [mm]</b>	0	220	340	340	340	220	0
<b>Progr. Long. [m]</b>	0	9.3	17.3	22.3	27.3	35.3	44.6

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



Per quanto riguarda lo spostamento da carichi da traffico risulta pari a:

$$d = 0.041\text{m}$$

contro uno spostamento massimo ammissibile pari a:

$$d_{lim} = 44.60/700 = 0.064\text{m}$$

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

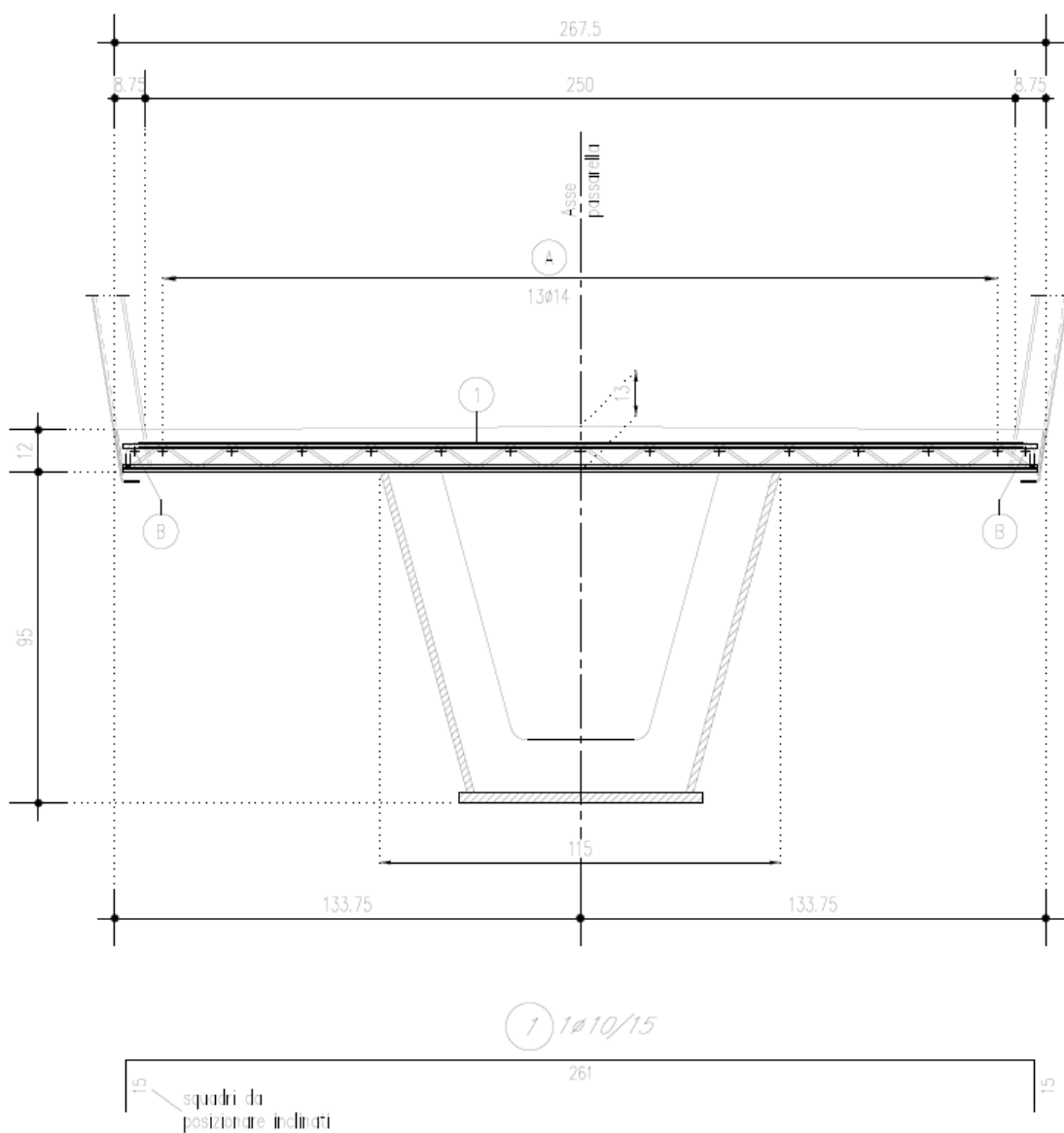
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.2. SOLETTA DI IMPALCATO

La soletta, ordita trasversalmente, è costituita da lastre tralicciate tipo predalles appoggiate sulle travi principali. Le lastre sono in acciaio ed hanno uno spessore di 4 mm e sono armate con idonei tralicci le cui altezze e geometrie sono riportate nel seguito.

ARMATURA SOLETTA : SEZIONE TRASVERSALE TIPICA 1:20



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Le verifiche della soletta vengono condotte con riferimento a due fasi distinte.

- **Fase I: provvisoria**

Nella prima fase il getto non è ancora giunto a maturazione, non può quindi essere considerato efficace ai fini della resistenza, in questa fase risultano quindi efficaci le sole armature inserite nelle predalles e la predalle in acciaio. Le azioni presenti sono costituite dal peso proprio delle lastre, dal getto e da un sovraccarico accidentale dovuto al personale, ai mezzi d'opera e ad accumuli di conglomerato cementizio.

- **Fase II: definitiva**

Nella seconda fase si fa riferimento alla sezione completa, composta cioè dal calcestruzzo, armatura e dalle predalles. I carichi sono: peso proprio predalles e getto, pesi portati e traffico. Il calcolo viene svolto realizzando un modello tridimensionale rappresentante la soletta appoggiata in corrispondenza delle travi.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.2.1. Analisi dei carichi

### 12.2.1.1. Pesì propri e Permanenti portati

Peso proprio delle lastre predalles:  $78.5\text{kN/m}^3 \times 0.004\text{m} = 0.314\text{ kN/m}^2$

Peso proprio dei getti di calcestruzzo (si riportano i carichi per le varie fasce di soletta):

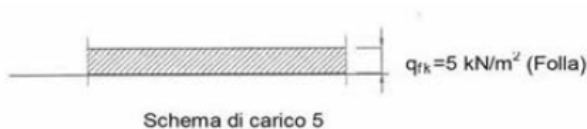
Tratto	Spessore (m)	Peso cls (kN/m <sup>3</sup> )	Massa Soletta (kN/m <sup>2</sup> )
Campata	0.122	25.00	3.05

Barriere

1.00 kN/m

### 12.2.1.2. Azioni variabili da traffico

Si considera lo Schema di Carico 5, costituito da un carico uniformemente distribuito pari a 5 kPa.

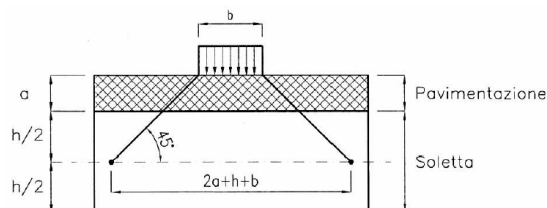


Inoltre si considera anche lo Schema di Carico 4 che prevede una forza concentrata di 10 kN su una impronta di 10cmx10cm nella posizione più sfavorevole sulla passerella pedonale. E' per questo stata applicata sia sullo sbalzo che nella zona di campata. Si assume come base resistente, l'ingombro trasversale del carico diffuso verticalmente a 45° sino al piano medio della soletta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



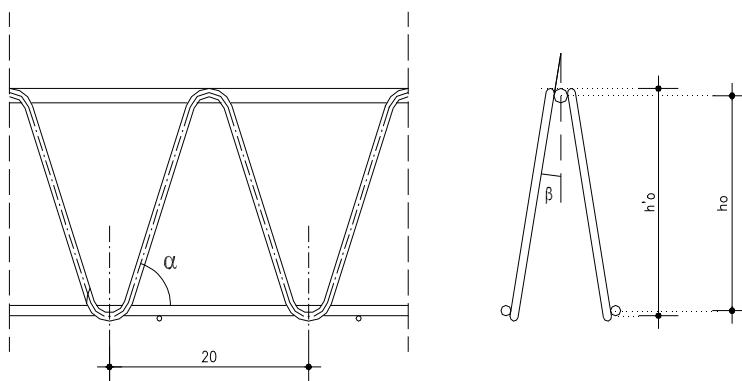
$$Q_{1k} = 10 \text{ kN}$$

$$P_{eq.} = 10 / ((0.13+0.10) \times (0.13+0.10)) = 189 \text{ kN/m}^2$$

## 12.2.2. Calcolo in Fase 1

Come detto in precedenza si considera una prima fase, detta "provvisoria", in cui il getto integrativo è ancora in fase fluida e risultano efficaci le sole armature inserite nelle predalles.

Di seguito si riporta una rappresentazione schematica del traliccio.



La predalles viene calcolata con uno schema statico di trave su 2 appoggi per la campata centrale mentre su schema di mensola a sbalzo per lo sbalzo laterale sia a destra sia a sinistra, considerando le luci di calcolo riportate nella figura sottostante.

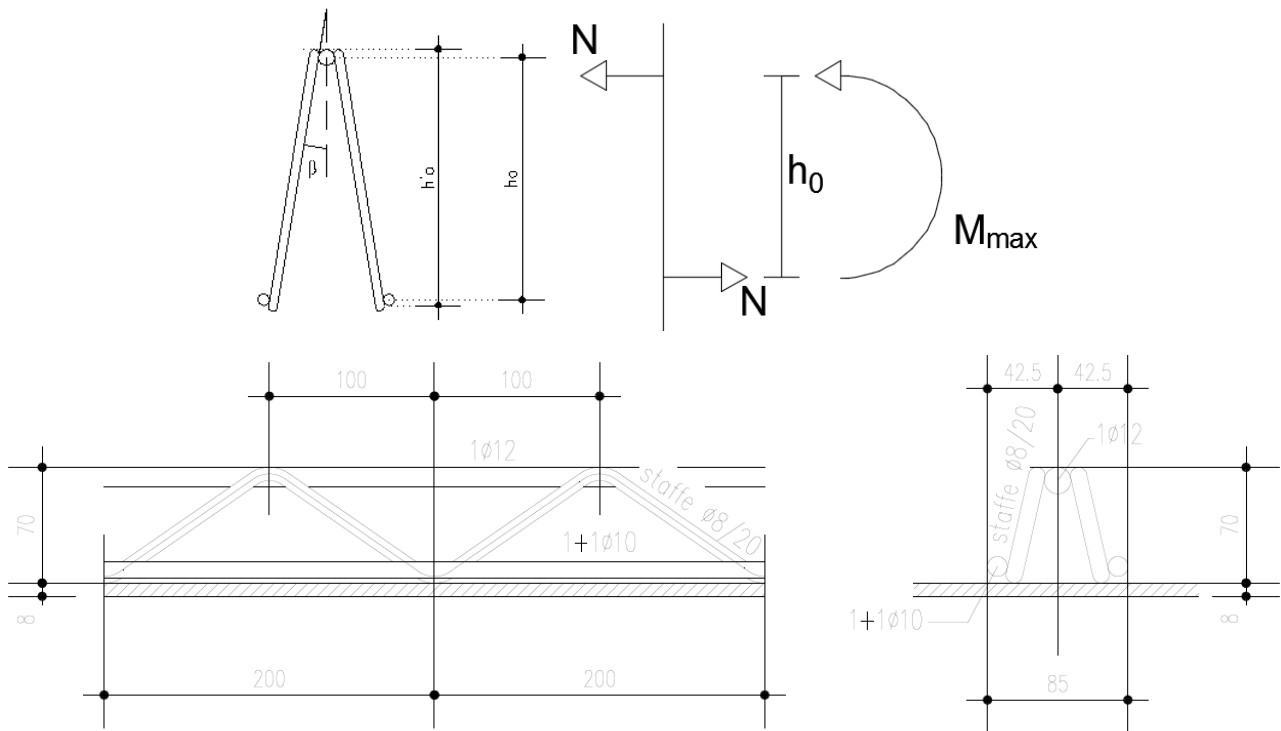
Con i carichi descritti in precedenza e sullo schema statico di trave su due appoggi e di mensola incastrata si calcolano le sollecitazioni utilizzate nelle verifiche.

Il momento flettente è equilibrato da una coppia interna costituita dal corrente superiore compresso e dai correnti inferiori tesi come illustrato nella seguente figura.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale



Lo sforzo normale agente sui correnti risulta pertanto:

$$N = M / h_0$$

Si procede quindi con la verifica di stabilità dei correnti superiore ed inferiore (in funzione del segno del momento) e la stabilità del diagonale compresso.



**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**12.2.2.1. Campata**

Lo spessore massimo di soletta nella zona di campata risulta pari a 0.13m. La luce di calcolo è la lunghezza della lastra pari a 1.13m.

	<b>Carichi</b>		
Carichi	peso proprio predalle in acc	0.314	kN/mq
	getto integrativo cls	3.05	kN/mq
	sovraccarico	1.00	kN/mq
	<b>Geometria tralicci</b>		
	numero di tralicci nella lastra	5	m
Corrente Superiore	∅ corrente superiore traliccio	12	mm
	area corrente sup.	113	mmq
	area correnti sup. / lastra	565	mmq
	momento di inerzia corrente sup.	1018	mmq x mmq
	raggio di inerzia corrente sup.	3.00	mm
	lunghezza libera di inflessione	20	cm
	lambda correnti sup.	67	
Corrente Inferiore	∅ corrente inferiore traliccio	10	mm
	area corrente inf.	79	mmq
	numero di ferri inf. aggiuntivi	0	
	∅ ferri inf. aggiuntivi	20	mm
	area ferri aggiuntivi	314	mmq
	altezza totale traliccio	7.00	cm
	altezza utile traliccio	5.60	cm
staffe	∅ staffa traliccio	8	mm
	area staffa	50	mmq
	area staffe / lastra	503	mmq
	momento di inerzia staffa	201	mmq x mmq
	raggio di inerzia correnti inf.	2.00	mmc
	lunghezza libera di inflessione	10.47	cm

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

lambda staffe	52	
alfa	0.69	rad
beta	0.57	rad
<b>Sollecitazioni unitarie</b>		
larghezza piattabanda	0	m
lunghezza sbalzo	0	m
lunghezza campata	1.13	m
Momento indotto dagli sbalzi	0.00	kNm/m
<b>Sollecitazioni sulla lastra</b>		
M=	0.75	kNm/m
T=	2.64	KN/m
larghezza lastra	1.50	m
M SLU=	1.51	kNm/lastra
T SLU=	5.35	kN/lastra
S SLU staffe	13.51	kN/lastra

Le verifiche risultano:

<b>Tensioni sugli elementi</b>		
Trazione sui correnti inf.	34.38	N/mm <sup>2</sup>
Compressione nei correnti sup.	47.75	N/mm <sup>2</sup>
Compressione nelle staffe	26.88	N/mm <sup>2</sup>

<b>Instabilità compressione (ferro sup)</b>		
Ned	5.40	kN
A	113.10	mm <sup>2</sup>
J	1017.876	mm <sup>3</sup>
fyk	450	N/mm <sup>2</sup>
γM1	1.1	
E	210000	N/mm <sup>2</sup>

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

I	200	mm
$\beta$	1	
I <sub>0</sub>	200	mm
N <sub>cr</sub>	52741.68	N
$\lambda$	0.98	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	1.174	
$\chi$	0.55	
N <sub>b,Rd</sub>	25.46	kN
Coeff sicurezza	4.71	

**Instabilità staffa**

N <sub>ed</sub>	1.35	kN
A	50.27	mmq
J	201.06	mmc
f <sub>yk</sub>	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{M1}$	1.1	
E	210000	N/mm <sup>2</sup>
I	104.72	mm
$\beta$	1	
I <sub>0</sub>	104.72	mm
N <sub>cr</sub>	37998.239	
$\lambda$	0.77	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	0.938	
$\chi$	0.680	
N <sub>b,Rd</sub>	13.98	kN
Coeff sicurezza	10.35	

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**12.2.2.2. Sbalzo**

Lo spessore del getto nella zona di sbalzo si assume pari a 0.13m. La luce di calcolo è la distanza tra il filo del getto e l'asse trave pari a 0.75.

	Carichi		
	<b>Geometria tralicci</b>		
	larghezza lastra	1.50	m
	numero tralicci	5.00	
	interasse tralicci	0.40	m
corr. Sup.	∅ corrente superiore traliccio	12.0	mm
	area correnti sup. / lastra	424	mmq
corr. Inferiore	∅ corrente inferiore traliccio	10.0	mm
	area corrente inf.	79	mmq
	area correnti inf. / lastra	589	mmq
	momento di inerzia correnti inf.	491	mmq x mmq
	raggio di inerzia correnti inf.	2.50	mm
	lunghezza libera di inflessione	20	cm
	lambda correnti inf.	80.00	
	lambda correnti inf.	80	
corr. Inferiore integrativo	∅ corrente inf. integrativo	0	mm
	area corrente inf. Integrativo	0	mmq
	numero correnti inf. Integrativi	0	num
	area correnti inf. / lastra	0	mmq
	momento di inerzia correnti inf.	0	mmq x mmq
	raggio di inerzia correnti inf.	0.00	mmc
	lunghezza libera di inflessione	20	cm
	lamdba correnti inf.	800000000.00	
	lambda correnti inf.	800000000	
	altezza totale traliccio	7.00	cm
	altezza utile traliccio	5.60	cm

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

staffe	∅ staffa traliccio	8	mm
	area staffa	50	mmq
	area staffe / lastra	377	mmq
	momento di inerzia staffa	201	mmq x mmq
	raggio di inerzia staffa.	2.00	mmc
	lunghezza libera di inflessione	15.36	cm
	lambda staffe	76.82	
	lambda staffe	77	
	alfa	0.51	rad
	Dist in pianta corrente sup-ing	5.00	cm
	beta	0.73	rad
	<b>Sollecitazioni unitarie</b>		
M Slu	1.59	kNm/m	
T Slu	3.95	kN/m	
<b>Sollecitazioni sulla lastra</b>			
M Slu	2.38	kNm/lastra	
T Slu	5.93	kN/lastra	
S staffe Slu	16.26	kN/lastra	

<b>Tensioni sugli elementi</b>		
Trazione sui correnti sup.	100.24	N/mmq
Compressione nei correnti inf.	72.17	N/mmq
Compressione nelle staffe	43.12	N/mmq

<b>Instabilità compressione ferri inferiori</b>		
Ned	4.25	kN
A	78.54	mmq
J	490.874	mmc
fyk	<b>500</b>	N/mmq

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

$\gamma_{M1}$	1.15	
E	210000	N/mm <sup>2</sup>
I	200	mm
$\beta$	1	
l <sub>0</sub>	200	mm
N <sub>cr</sub>	25434.84	N
$\lambda$	1.24	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	1.527	
$\chi$	0.41	
N <sub>b,Rd</sub>	14.14	kN
Coeff sicurezza	3.33	

<b>Instabilità staffe</b>		
N <sub>ed</sub>	1.63	kN
A	50.27	mm <sup>2</sup>
J	201.06	mm <sup>3</sup>
f <sub>yk</sub>	500	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{M1}$	1.15	
E	210000	N/mm <sup>2</sup>
I	153.65	mm
$\beta$	1	
l <sub>0</sub>	153.65	mm
N <sub>cr</sub>	17651.87391	N
$\lambda$	1.19	
$\alpha$	0.49	
$\phi$	1.455	
$\chi$	0.437	
N <sub>b,Rd</sub>	9.55	kN

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

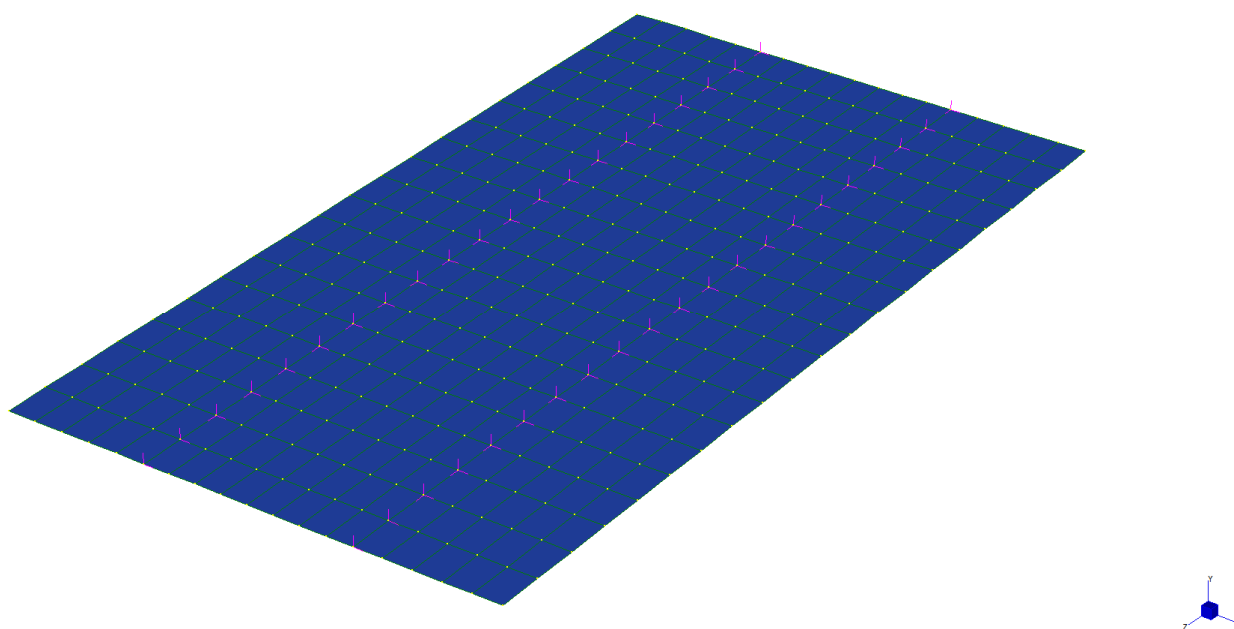
Coeff sicurezza

5.87

## 12.2.3. Calcolo in Fase 2

### 12.2.3.1. Sollecitazioni

Le sollecitazioni vengono estratte dal modello di calcolo 3d nel quale sono stati inseriti i carichi permanenti e variabili in gioco:



Dopo aver estratto le sollecitazioni si procederà alla verifica a flessione/taglio SLU, limitazione tensioni in combo rara, fessurazione in combo frequente. Non si svolgeranno le verifiche in combo quasi permanente in quanto non essendo presenti i contributi del traffico si producono sollecitazioni molto limitate e le verifiche risultano automaticamente soddisfatte.

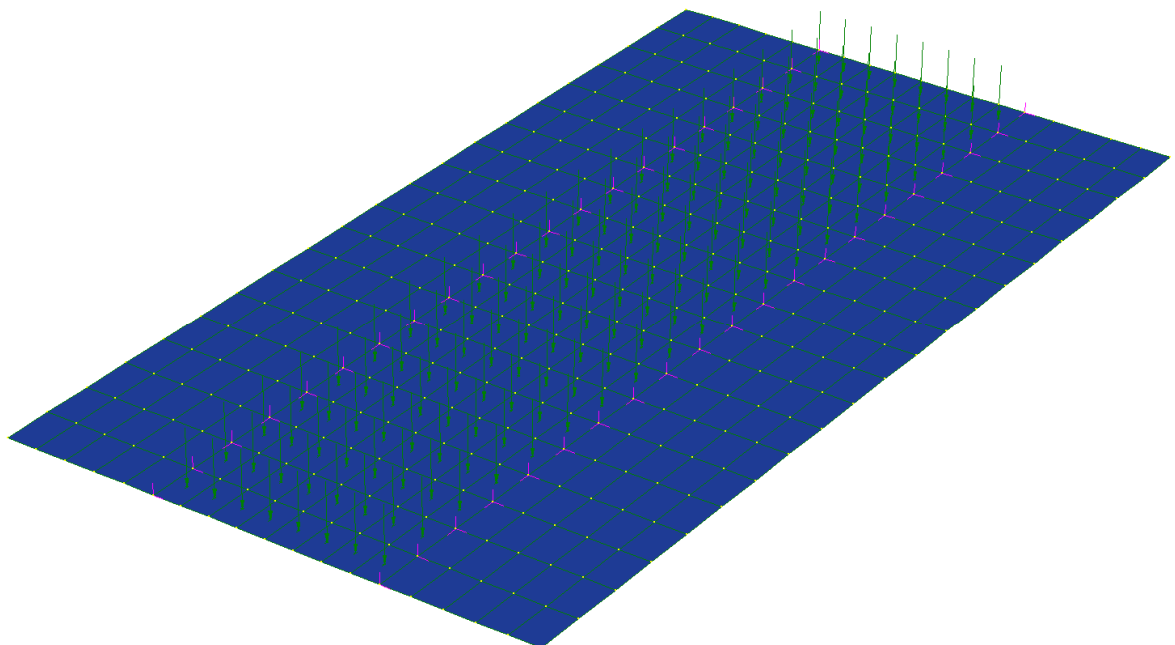
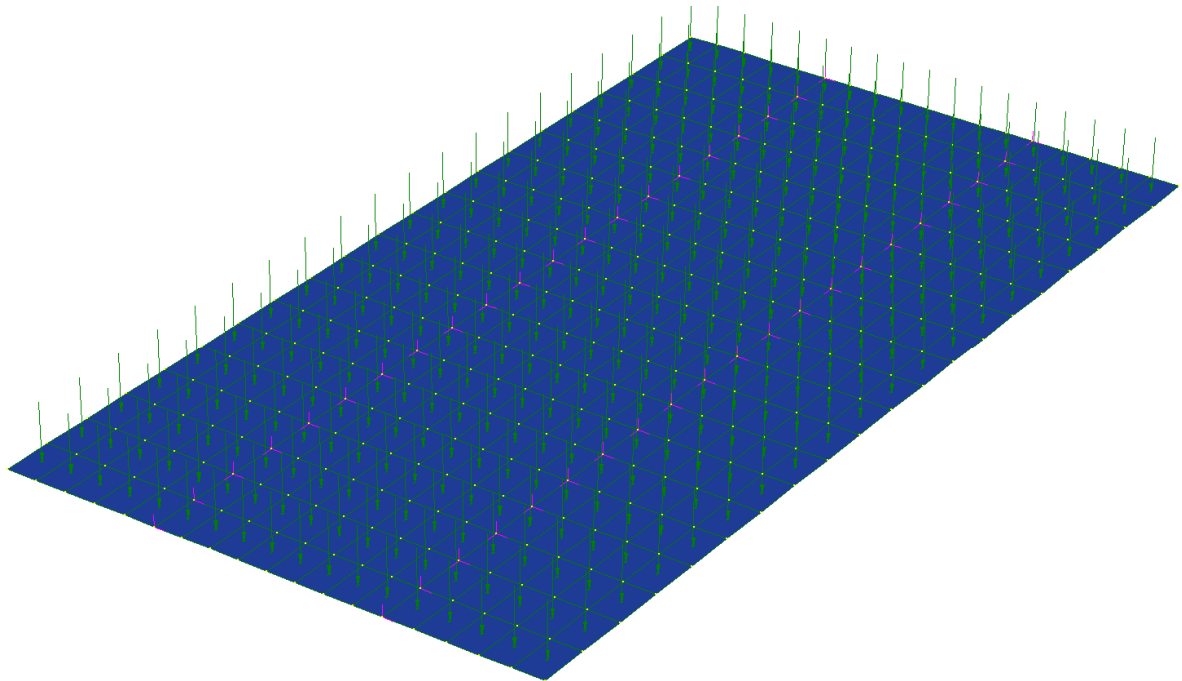
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Si riportano a titolo di esempio alcuni caricamenti da traffico Schema di carico 1 inseriti nel programma:



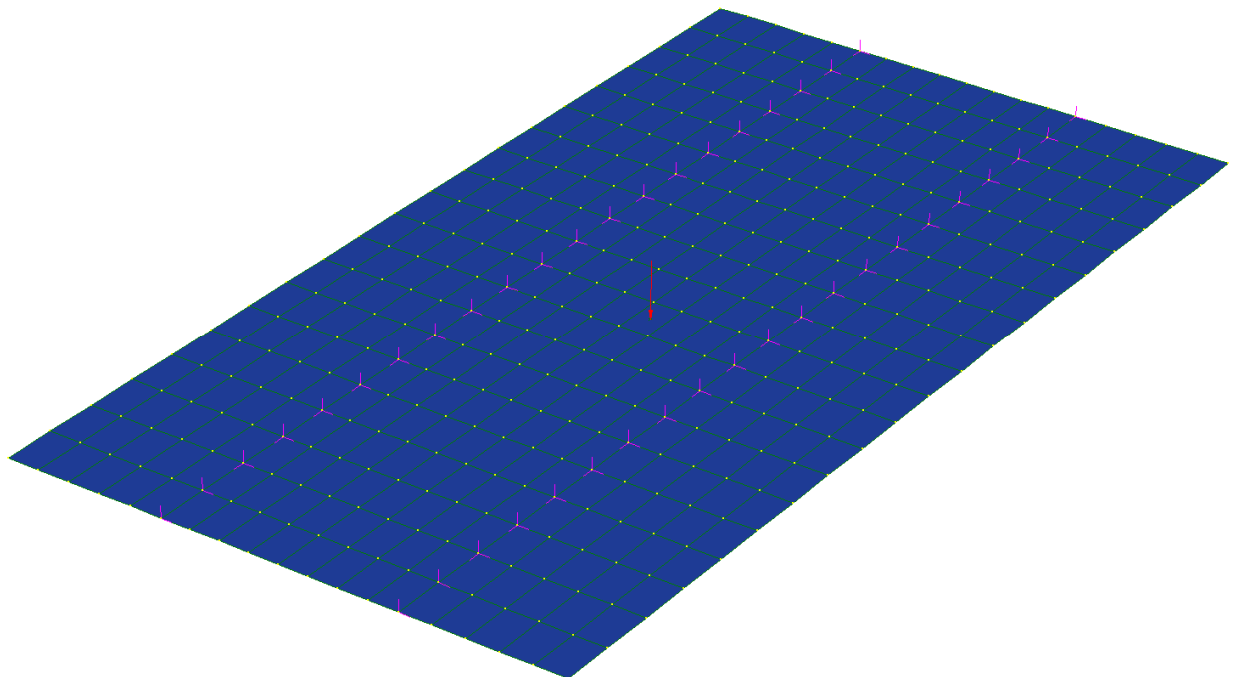
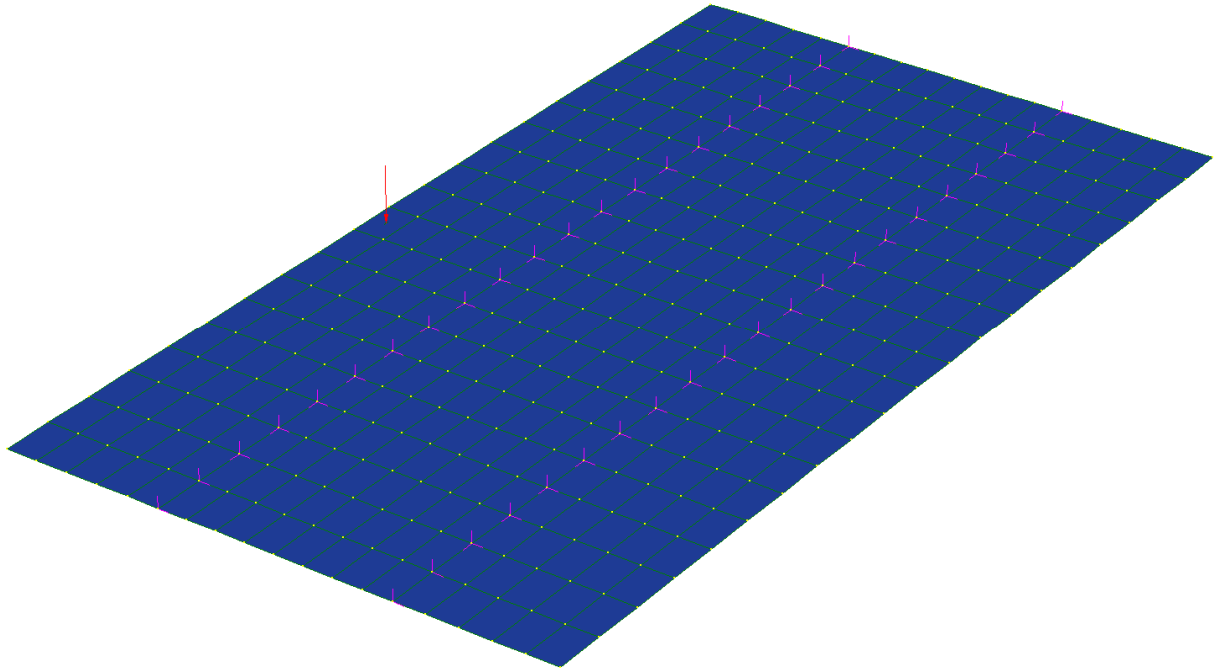


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

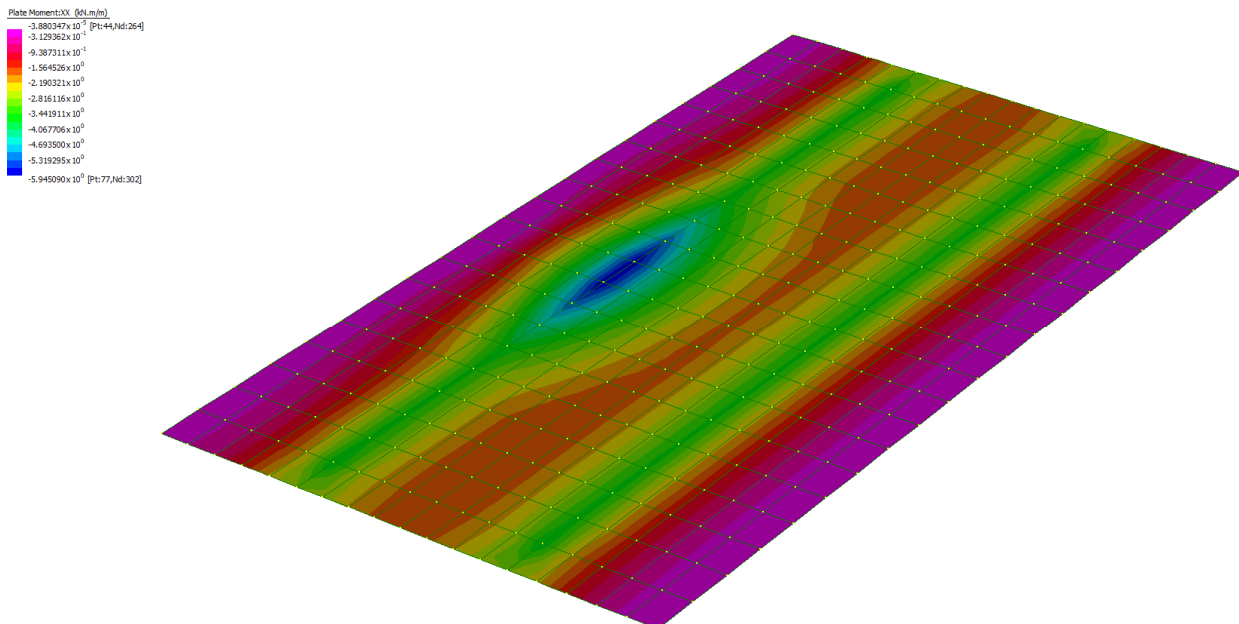
Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per quanto riguarda la spinta sul parapetto, la si è verificata separatamente assegnando l'azione interamente ad un montante, sulla base della sua afferenza, il quale risulta collegato tramite irrigidimento inferiore a correre, al montante posto sull'altro. In questo modo si crea un portale ad U che risulta equilibrato e che autonomamente è in grado di assorbire le azioni dell'urto su parapetto senza mettere in carico la soletta.

Si riportano di seguito l'involuppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti sulla soletta.

## Involuppo Momenti flettenti SLU M-:

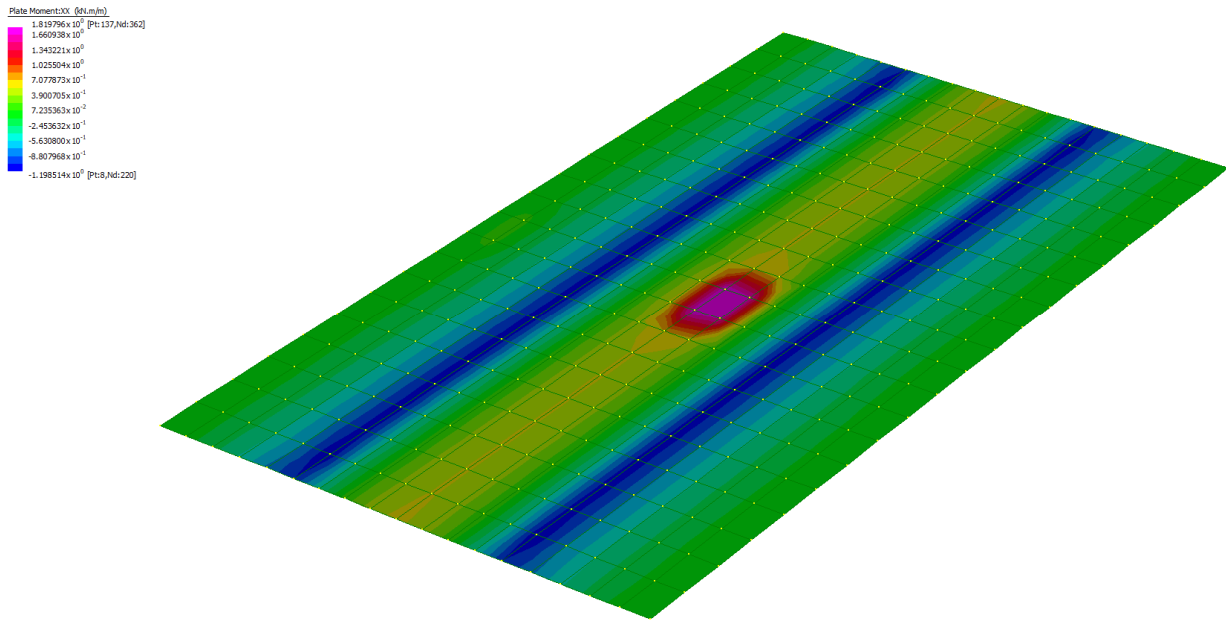


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

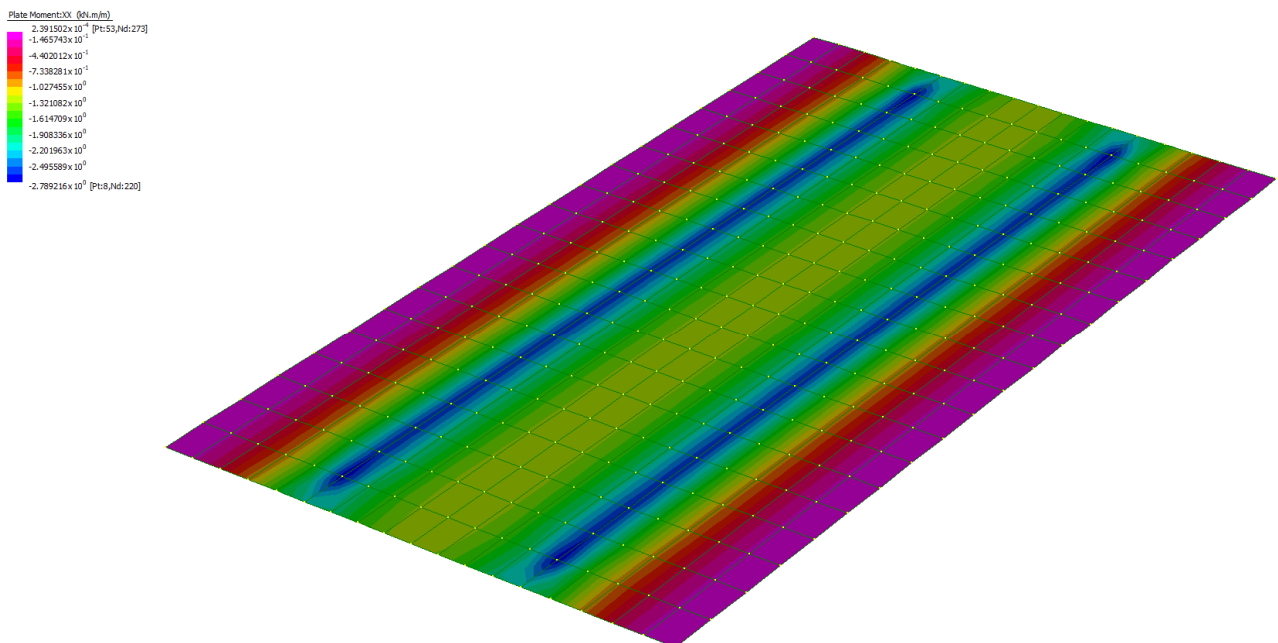
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Inviluppo Momenti flettenti SLU M+:



## Inviluppo Momenti flettenti SLE Rara M-:

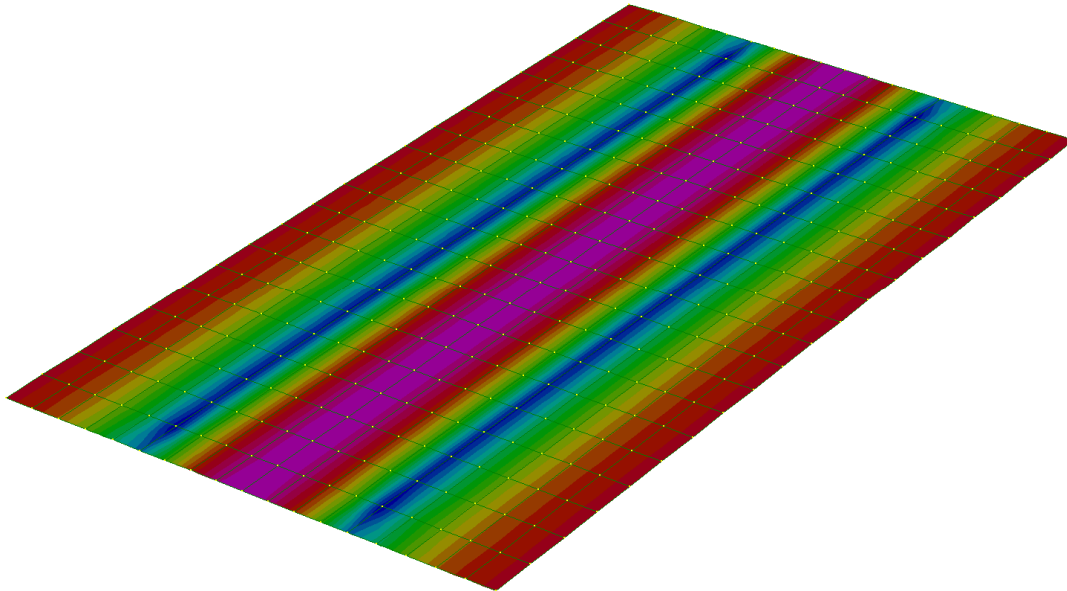
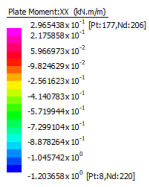


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

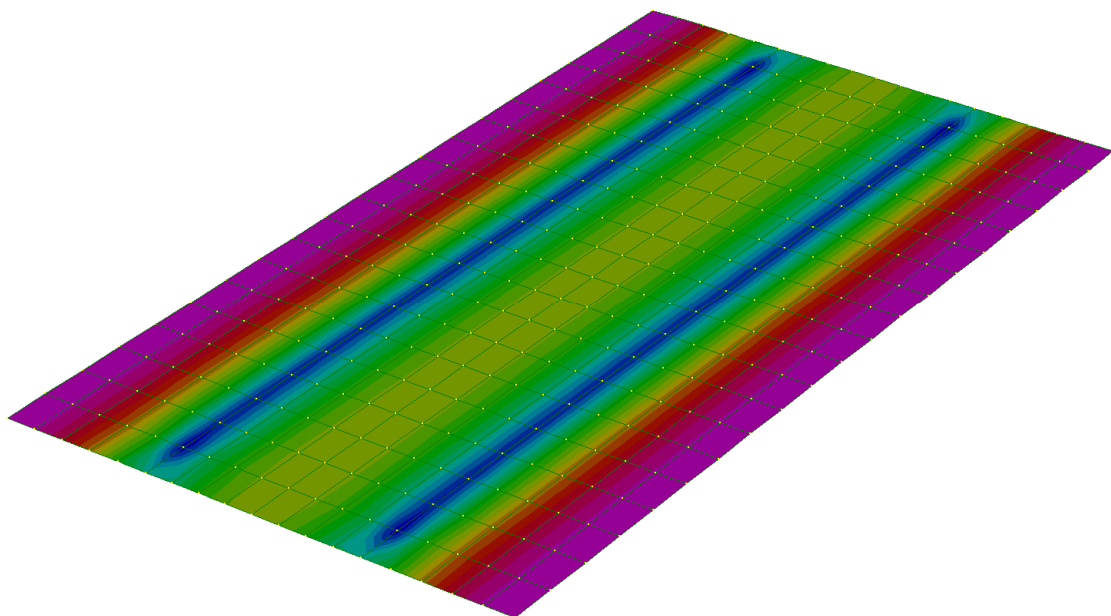
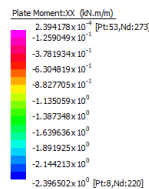
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Inviluppo Momenti flettenti SLE Rara M+:



## Inviluppo Momenti flettenti SLE Frequente M-:

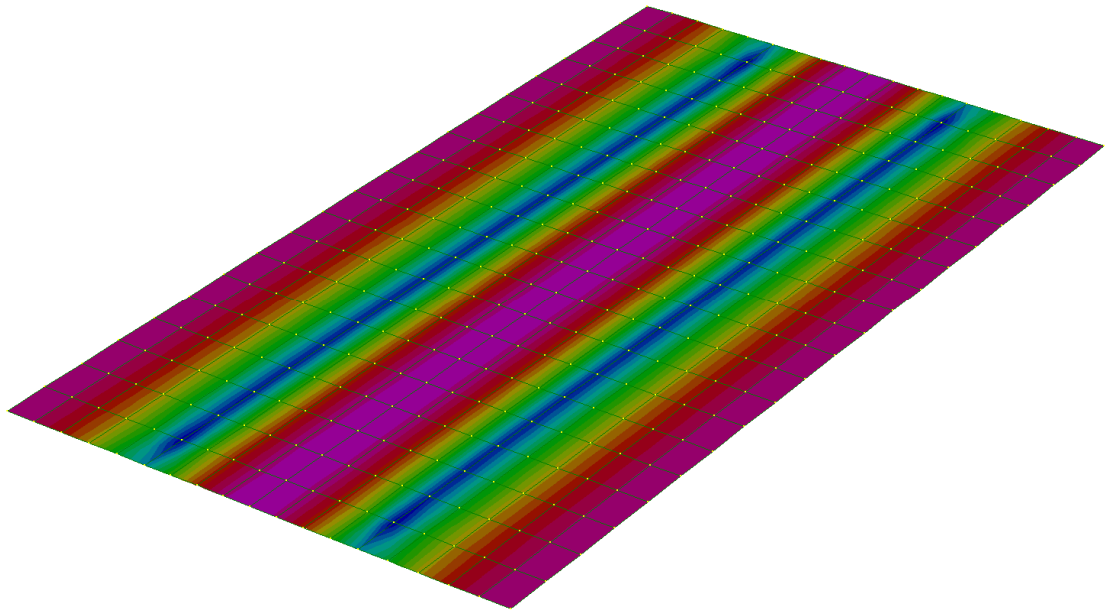
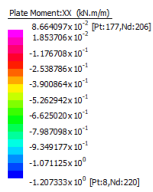


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

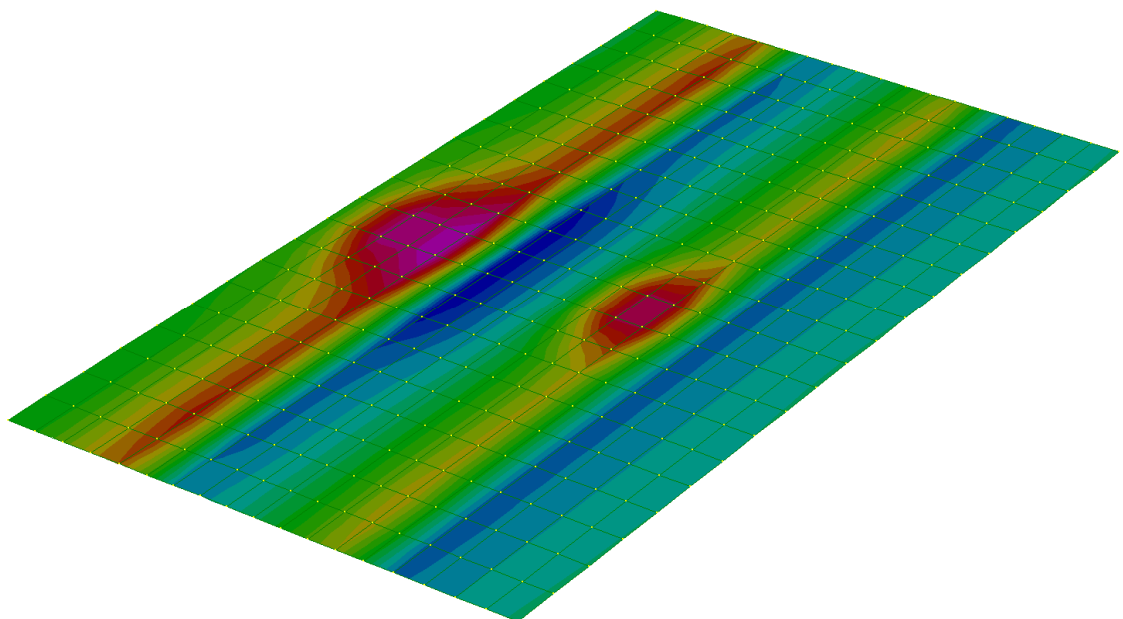
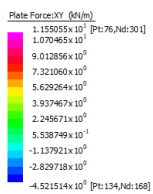
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Involuppo Momenti flettenti SLE Frequente M+:



## Involuppo Taglio SLU:



**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

**12.2.3.2. Riepilogo sollecitazioni**

		<i>Mezzeria</i>	<i>Appoggio</i>
		<i>M+</i>	<i>M-</i>
<b>M SLU</b>	kNm	+2	-6
<b>M Rara</b>	kNm	+0.3	-2.8
<b>M Freq</b>	kNm	+0.2	-2.4
<b>T SLU</b>	kN	-	11

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## Verifica a flessione M- SLU

Caratteristiche sezioni di verifica		
Base	100	cm
Altezza	13	cm
Armatura superiore	Ø10/15	
Armatura inferiore	2Ø10/30	Traliccio inf. predalle

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	13	1	5.23	4
			2	5.23	10.3

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Materiali**

B450C C32/40

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰

τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d

δ

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>o</sub>  cm Col. modello

Precompresso

La verifica è quindi soddisfatta.





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.2.3.4. Verifica a limitazione tensioni M- Rara

**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	13	1	5.23	4
			2	5.23	10.3

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**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>	210,000 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>	1.863 ‰	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

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

Avendo  $\sigma_c = 2.25 \text{ MPa} < 0.6 \times 32 = 19.2 \text{ MPa}$  e

$\sigma_s = 68 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.2.3.5. Verifica a fessurazione M- frequente

Verifica C.A. S.L.U. - File
File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :**

N° strati barre

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	13

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.23	4
2	5.23	10.3

**Tipo Sezione**

Rettan.re    Trapezi

a T    Circolare

Rettangoli    Coord.

File

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+    S.L.U.-

Metodo n

**Sollecitazioni**

S.L.U.         Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-2.4"/> kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro    Baricentro cls

Coord.[cm]   xN    yN

**Materiali**

B450C

C32/40

$\epsilon_{su}$	<input type="text" value="67.5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$	<input type="text" value="2"/> ‰	$\sigma_c$	<input type="text" value="-1.926"/> N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	<input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	<input type="text" value="3.5"/> ‰	$\sigma_s$	<input type="text" value="57.95"/> N/mm <sup>2</sup>
$E_s$	<input type="text" value="210,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	<input type="text" value="18.13"/>	$\epsilon_s$	<input type="text" value="0.2759"/> ‰
$E_s/E_c$	<input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$	<input type="text" value="0.8"/> ?	d	<input type="text" value="9"/> cm
$\epsilon_{syd}$	<input type="text" value="1.863"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="12.25"/>	x	<input type="text" value="2.994"/> x/d <input type="text" value="0.3326"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	<input type="text" value="0.7333"/>	$\delta$	<input type="text" value="0.8558"/>
		$\tau_{c1}$	<input type="text" value="2.114"/>		

N° iterazioni:

Precompresso

Data la tensione assolutamente esigua sulle barre di armatura è lecito considerare la verifica a fessurazione automaticamente soddisfatta.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**12.2.3.6. Verifica a Taglio SLU**

Per la verifica a taglio si è considerato il contributo resistente dei bracci inclinati dei tralicci, che sono staffe  $\varnothing 8/20$  a passo 30cm. Risulta:

$V_{sdu}$	11	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	32	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	8.50	cm
$A_{sl}$	5.23	cm <sup>2</sup>
$c$	4.50	cm
$\alpha$	32	gradi
$\alpha$	0.56	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$A_{sw}$	3.33	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20.00	cm
$f_{cd}$	18.133	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd_{0,05}}$	1.735	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	55.098	kN
$V_{Rd,min}$	47.600	kN
$\rho_{sw,min}$	0.001006	
$s_{l,max}$	16.58	cm
$A_{sw,min}$	0.883	cm <sup>2</sup> / $s_{l,max}$
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	392.244	kN
$V_{Rsd}$	108.302	kN
$V_{Rd}$	108.302	kN

Si ha 108 kN > 11 kN. La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Si riporta anche la verifica a scorrimento del traliccio rispetto la lastra predalle, che risulta saldato a quest'ultima tramite cordone lato 5mm e sviluppo 20cm. Questa saldatura deve essere in grado di trasmettere lo scorrimento dovuto al taglio di progetto SLU pari a:

$$T_{\text{traliccio}} = 0.30 \times 11 = 3.3 \text{ kN}$$

larghezza sezione	300	mm
spessore cls	130	mm
spessore lastra	6	mm
coeff om	6	
lunghezza cordone	30	mm
lato cordone	5	mm
sp cordone	3.54	mm
area om cls	49800	mm <sup>2</sup>
mom st risp base	2801400	mm <sup>3</sup>
quota baricentro risp base	56.25	mm
mom in	94066412	mm <sup>4</sup>
mom st lastra risp bar	575133	mm <sup>3</sup>
mpm st cls risp bar	575133	mm <sup>3</sup>
fyk acciaio	355	Mpa
$\beta_1$	0.7	
Taglio	3.3	kN
Scorrimento	20	N/mm
num trasv	2	
passo long	200	mm
scorr su 1 saldatura	2	kN
$\tau_{//}$ saldatura	19	N/mm <sup>2</sup>
$\beta_1$ fyk	248.5	N/mm <sup>2</sup>
Verifica	Soddisfatta	



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

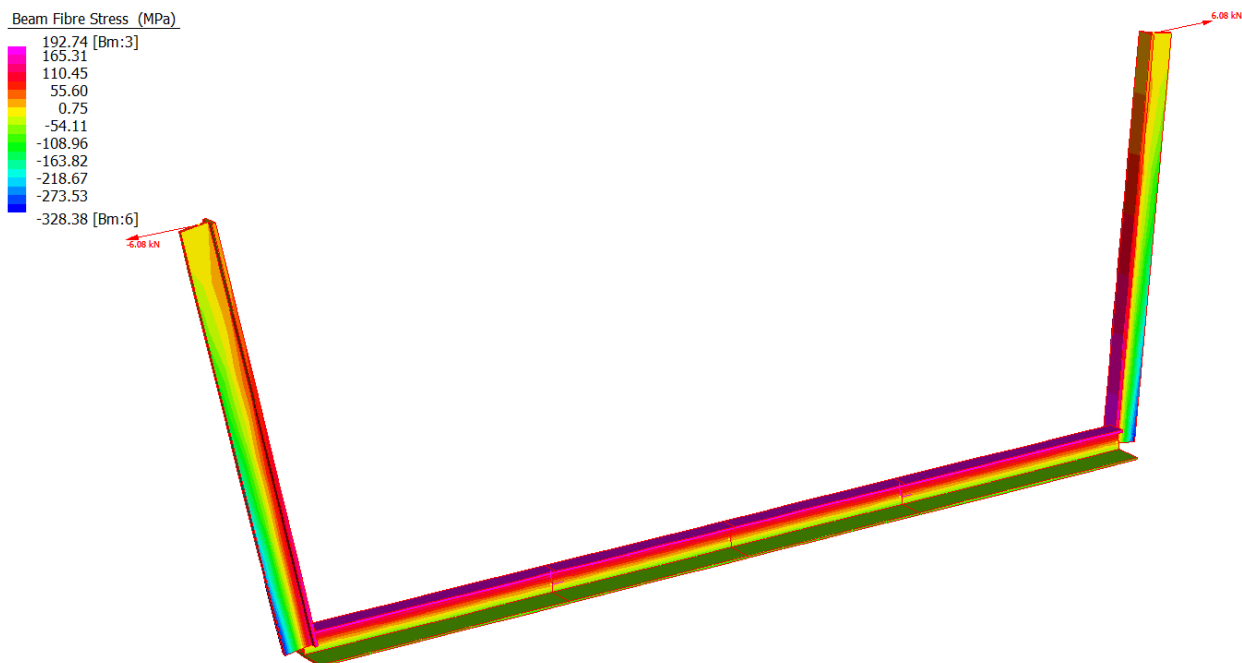
Relazione di calcolo strutturale

Per verificare la struttura si è realizzato un modello di calcolo in Straus7, costituito dal portale del montante verticale e dell'irrigidente orizzontale, sollecitato dall'urto sul corrimano, avente interasse di 3m, pari a:

$$F = 1.50 \times 3 = 4.5 \text{ kN}$$

$$F_{SLU} = 4.5 \times 1.35 = 6.08 \text{ kN}$$

Si riporta di seguito la mappa delle tensioni SLU negli elementi a causa della spinta sul parapetto:



Si nota una tensione massima pari a 328 MPa <  $355/1.05 = 338$  MPa e quindi verificato.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.3. FUSTO SPALLA

Vengono definiti Integrali i ponti che presentano una spalla fondata su pali solidarizzata all'impalcato mediante un collegamento rigido che può essere realizzato con varie tecnologie. Il risultato di tale connessione è una struttura dotata di nodi in cui si ha trasmissione delle sollecitazioni normali, taglianti e flettenti dall'impalcato alla spalla e viceversa.

La struttura risulta quindi essere assimilabile ad un portale al quale sono contemporaneamente applicati i carichi tipici degli impalcati da ponte e delle spinte del terreno.

Si ha quindi trasmissione delle sollecitazioni tra spalla ed impalcato secondo lo schema seguente:

<b>Impalcato</b>		<b>Spalla</b>
Momento flettente	↔	Momento flettente
Sforzo normale	↔	Taglio
Taglio	↔	Sforzo normale

### 12.3.1. Combinazioni di verifica

Gli stati limite ultimi delle opere interrate si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Le verifiche agli stati limite ultimi sono eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU) - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR) - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1" e "Approccio 2", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 5.1.V per i parametri geotecnici e le azioni.

- Approccio 1 - Combinazione 1 →(A1+M1+R1) → STR
- Approccio 2 →(A1+M1+R3) → GEO

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per la resistenza del sistema.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per la condizione sismica le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto, con i valori dei coefficienti parziali sopra indicati (7.11.1 NTC). Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per opere del tipo in oggetto è lecito assumere valore nullo per il coefficiente  $\psi_{2i}$ .

La combinazione direzionale dell'azione sismica è stata effettuata sulla base delle seguenti formule:

$$E = \pm E_x \pm 0.3E_y \pm 0.3E_z \quad \text{combinazione "SISMA LONGITUDINALE"}$$

$$E = \pm E_y \pm 0.3E_x \pm 0.3E_z \quad \text{combinazione "SISMA TRASVERSALE"}$$

$$E = \pm 0.3E_y \pm 0.3E_x \pm E_z \quad \text{combinazione "SISMA VERTICALE"}$$

## 12.3.2. Sollecitazioni

Si riportano di seguito le sollecitazioni nella sezione di incastro della spalla nell'impalcato. Le sollecitazioni sono relative ad un metro lineare di profondità di spalla. Le sollecitazioni risultano le medesime già presentate al capitolo 10.

Per quanto riguarda invece l'azione assiale a metro di profondità la si è calcolata manualmente come:

- $P_{imp} = 8.53 \times 2 \times 44.60 / 2 / 2.64 = 144 \text{ kN}$
- $P_{PePo} = 1.00 \times 2 \times 44.60 / 2 / 2.64 = 17 \text{ kN}$
- $P_{Spalla} = 1 \times 1.80 \times 3.70 \times 25 = 167 \text{ kN}$
- $P_{traffico} = 5 \times 2.50 \times 44.6 / 2 / 2.64 = 106 \text{ kN}$
- $P_{vento} = (1.12 \times 44.6 \times 2.96 / 2 \times 4.34) / (2.64^2 / 6) = \pm 298 \text{ kN}$

Per quanto riguarda l'azione sismica si è proceduto in due differenti modi per la direzione trasversale e longitudinale. In direzione longitudinale si sono estratti i risultati direttamente

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

dal modello di calcolo secondo quanto descritto nel paragrafo di modellazione ed analisi sismica.

Mentre per quanto riguarda la direzione trasversale si è effettuato un calcolo manuale dettagliato di seguito. Si riporta l'accelerazione sismica orizzontale e verticale:

$$a_h(T=0) = 0.258g$$

$$a_v(T=0) = 0.087g$$

Le azioni sismiche in direzione trasversale sono generate dai pesi propri di impalcato e spalle e dai pesi portati, che su una spalla producono un carico verticale di:

$$P_{PP} = (8.53+1.00) \times 2 \times 44.60 / 2 = 425 \text{ kN}$$

$$P_{Spalla} = 1.8 \times 2.64 \times 3.70 \times 25 = 440 \text{ kN}$$

$$P_{tot \text{ su spalla}} = 425 + 440 = 865 \text{ kN}$$

La forza sismica orizzontale trasversale diventa:

$$F_H = 865 \times 0.258 = 224 \text{ kN}$$

Ed il momento flettente a base spalla:

$$M = 425 \times 0.258 \times 3.92 + 440 \times 0.258 \times 3.70 / 2 = 640 \text{ kNm}$$

Di conseguenza il carico verticale a base fusto generato dal sisma trasversale principale e dal sisma verticale secondario al 30% risulta pari a:

$$N = 0.30 \times (425 + 440) \times 0.087 / 2.64 + 640 / (2.64^2 / 6) = \pm 560 \text{ kN}$$

Mentre il taglio risulta pari a:

$$T = 224 / 2.64 = 85 \text{ kN}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

In definitiva si ottengono le seguenti sollecitazioni caratteristiche dai vari casi di carico:

		Pesi Strutt.	PePo + Spinte	Traffico Comp.	Traffico Traz.	Termica Giorn.	Termica Stag.	Ritiro	Sovraccarico	Vento Comp.	Vento Traz.	Sisma - Long. princ	Sisma - Trasv. princ
<b>N</b>	kN/m	311	17	106	-3	0	0	0	0	298	-298	-560	560
<b>T</b>	kN/m	0	57	172	-	69	248	-36	-1	103	-	101	108
<b>M</b>	kNm/m	0	-163	-759	-	-22	-90	4	-2	-414	-	-127	-38

Ed in combinazione SLU e SLE risulta:

		SLU	SLE rara	SLE Fr	SLE QP	SIS SLV Long	SIS SLV Trasv
<b>N max comp.</b>	kN	854	613	408	328	-232	888
<b>N min comp.</b>	kN	-78	146	326	328	888	-232
<b>T</b>	kN	819	565	376	345	216	355
<b>M</b>	kNm	-1721	-1240	-790	-219	-357	-268

### 12.3.3. Verifiche

#### 12.3.3.1. Verifiche a flessione SLU

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Base	100	cm
Altezza	180	cm
Armatura testa ext.	Ø26/20-12.5	
Armatura tesa int.	Ø24/20-12.5	
Armatura compressa	Ø16/20	

Cautelativamente si considera la massima trazione indotta in fase sismica sulla sezione:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Verifica C.A. S.L.U. - File
— □ ×

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

📄 🗑️ 📁 🖨️

**Titolo :**

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	180

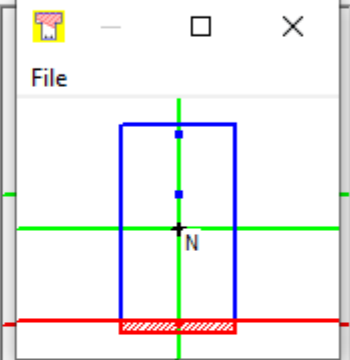
N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	8.3
2	22.62	60
3	10.05	171.7

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.



**Sollecitazioni**

S.L.U. → ← Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="-232"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN   
yN

- Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C32/40</b>
$\epsilon_{su}$ <input type="text" value="67.5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$ <input type="text" value="2"/> ‰
$f_{yd}$ <input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input type="text" value="3.5"/> ‰
$E_s$ <input type="text" value="210,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <input type="text" value="18.13"/>
$E_s/E_c$ <input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$ <input type="text" value="0.8"/> ?
$\epsilon_{syd}$ <input type="text" value="1.863"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="12.25"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input type="text" value="0.7333"/>
	$\tau_{c1}$ <input type="text" value="2.114"/>

**M<sub>xRd</sub>**  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$   ‰

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d

δ

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett.

L<sub>o</sub>  cm

Precompresso

1721 < 2557 → Verifica soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.3.3.2. Verifiche a taglio SLU

$V_{sdu}$	819	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	32	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$bw$	100	cm
$d$	172.00	cm
$A_{sl}$	49.10	cm <sup>2</sup>
$c$	8.00	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$A_{sw}$	1.31	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20.00	cm
$f_{cd}$	18.133	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd,0,05}$	1.735	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	578.591	kN
$V_{Rd,min}$	528.827	kN
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	4839.474	kN
$V_{Rsd}$	990.707	kN
$V_{Rd}$	990.707	kN

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.3.3.3. Verifiche Limitazione tensione SLE Rara

Verifica C.A. S.L.U. - File
— □ ×

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :**

N\* strati barre  **Zoom**

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	180

N*	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	26.55	8.3
2	22.62	60
3	10.05	171.7

**Tipo Sezione**

Rettan.re    Trapezi

a T    Circolare

Rettangoli    Coord.

File

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+    S.L.U.-

Metodo n

**Sollecitazioni**

S.L.U.   **Metodo n**

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-1264"/> kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro    Baricentro cls

Coord.[cm]   xN    yN

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C32/40</b>
ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> ‰	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub> <input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/>
E <sub>s</sub> <input type="text" value="210,000"/> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> <input type="text" value="18.13"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input type="text" value="0.8"/> ?
ε <sub>syd</sub> <input type="text" value="1.863"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="12.25"/>
σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0.7333"/>
	τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="2.114"/>

σ <sub>c</sub>	<input type="text" value="-4.332"/> N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>s</sub>	<input type="text" value="221.6"/> N/mm <sup>2</sup>
ε <sub>s</sub>	<input type="text" value="1.055"/> ‰
d	<input type="text" value="171.7"/> cm
x	<input type="text" value="38.93"/> x/d <input type="text" value="0.2267"/>
δ	<input type="text" value="0.7234"/>

**Verifica**   **N\* iterazioni:**

Precompresso

Avendo  $\sigma_c = 4.33 \text{ MPa} < 0.6 \times 32 = 19.2 \text{ MPa}$  e

$\sigma_s = 222 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

Pag. 423/474

a cura di: PIACENTINI  
INGEGNERI

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.3.3.4. Verifiche a Fessurazione SLE Frequente

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	180

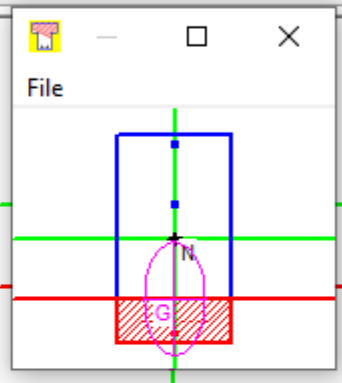
N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	8.3
2	22.62	60
3	10.05	171.7

**Tipologia Sezione**

Rettan.re    Trapezi

a T    Circolare

Rettangoli    Coord.



**Sollecitazioni**

S.L.U.   **Metodo n**

N<sub>Ed</sub>     kN

M<sub>xEd</sub>     kNm

M<sub>yEd</sub>

**P.to applicazione N**

Centro    Baricentro cls

Coord.[cm]   xN    yN

**Materiali**

<p><b>B450C</b></p> <p>ε<sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> ‰</p> <p>f<sub>yd</sub> <input type="text" value="391.3"/> N/mm²</p> <p>E<sub>s</sub> <input type="text" value="210,000"/> N/mm²</p> <p>E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> <input type="text" value="15"/></p> <p>ε<sub>syd</sub> <input type="text" value="1.863"/> ‰</p> <p>σ<sub>s,adm</sub> <input type="text" value="255"/> N/mm²</p>	<p><b>C32/40</b></p> <p>ε<sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰</p> <p>ε<sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/></p> <p>f<sub>cd</sub> <input type="text" value="18.13"/></p> <p>f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> <input type="text" value="0.8"/> ?</p> <p>σ<sub>c,adm</sub> <input type="text" value="12.25"/></p> <p>τ<sub>co</sub> <input type="text" value="0.7333"/></p> <p>τ<sub>c1</sub> <input type="text" value="2.114"/></p>
---	--

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+    S.L.U.-

Metodo n

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x    x/d    δ

Nota la tensione sull'acciaio pari a 138 MPa si riporta la verifica a fessurazione:

Coefficiente di omogeneizzazione cls tesocompr.	n' =	0.6	
Coefficiente di omogeneizzazione acc.-cls	n =	15	
Classe cls	R <sub>ck</sub> =	40	N/mm²
Modulo elastico acciaio	E <sub>s</sub> =	2.1E+05	N/mm²
Modulo elastico cls	E <sub>cm</sub> =	33643	N/mm²

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**Caratteristiche geometriche della sezione**

Altezza	H =	180	cm
Larghezza	B =	100	cm
Area acciaio teso	A <sub>s</sub> =	49.1	cm <sup>2</sup>
Copri ferro baricentro acciaio teso	c <sub>s</sub> =	8.00	cm
Area acciaio compresso	A' <sub>s</sub> =	10.05	cm <sup>2</sup>
Copri ferro acciaio compresso	c's =	8	cm
Ricoprimento barre esterne tese	c =	7.0	cm
Ricoprimento barre interne tese	c+S =	0.0	cm
Diametro massimo barre tese	Φ =	2.6	cm

**Sezione fessurata: apertura fessure**

Momento flettente in condizioni di fessurazione	M =	790.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di fessurazione	N =	0.00	kN
Distanza asse neutro da lembo compresso	x =	38.93	cm
Tensione cls compresso	σ <sub>c</sub> =	-2.71	N/mm <sup>2</sup>
Tensione barra esterna tesa	σ <sub>s</sub> =	138.00	N/mm <sup>2</sup>

**Distanza media fra due fessure attigue**

Coefficiente k <sub>2</sub>	k <sub>2</sub> =	0.5	
Tensioni nel calcestruzzo teso	σ <sub>1</sub> =	1.02	N/mm <sup>2</sup>
	σ <sub>2</sub> =	-0.28	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente k <sub>3</sub>	k <sub>3</sub> =	3.400	
Larghezza efficace	b <sub>eff</sub> =	100.0	cm
Altezza efficace	d <sub>eff</sub> =	20.0	cm
Area efficace	A <sub>ceff</sub> =	2000.0	cm <sup>2</sup>
Diametro equivalente	Φ <sub>eq</sub> =	2.600	cm
Area armature poste in A <sub>ceff</sub>	A <sub>s</sub> =	26.55	cm <sup>2</sup>
Distanza media fra due fessure attigue	Δ <sub>smax</sub> =	57.096	cm

**Deformazione unitaria media**

Coefficiente k <sub>t</sub>	k <sub>t</sub> =	0.4	0.4 per carichi di lunga durata
Coefficiente k <sub>1</sub>	k <sub>1</sub> =	0.8	
Coefficiente k <sub>4</sub>	k <sub>4</sub> =	0.425	
Deformazione unitaria media	e <sub>sm</sub> =	3.94E-04	

**Ampiezza fessura**

**Apertura massima fessura**

w <sub>d</sub> =	0.225	mm
w <sub>amm</sub> = w <sub>1</sub>	0.2	mm

La fessura ha un'apertura di 0.225mm < w<sub>2</sub>=0.3mm. Quindi risulta automaticamente verificata anche la fessurazione in combinazione quasi permanente.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.3.3.5. Verifiche Limitazione tensione SLE Quasi permanente

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	180

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	8.3
2	22.62	60
3	10.05	171.7

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M <sub>xEd</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-219"/> kNm
M <sub>yEd</sub> <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm]    xN     yN

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+     S.L.U.-

Metodo n

**Materiali**

<input type="button" value="B450C"/>	<input type="button" value="C32/40"/>
ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> ‰	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub> <input type="text" value="391.3"/> N/mm²	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/>
E <sub>s</sub> <input type="text" value="210,000"/> N/mm²	f <sub>cd</sub> <input type="text" value="18.13"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input type="text" value="0.8"/> ?
ε <sub>syd</sub> <input type="text" value="1.863"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="12.25"/>
σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0.7333"/>
	τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="2.114"/>

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

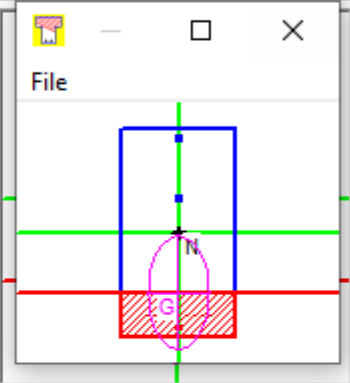
ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x     x/d     δ

N° iterazioni:

Precompresso



Le tensioni risultano assolutamente contenute e quindi la verifica risulta soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4. PALI

### 12.4.1. Criteri di calcolo

In ottemperanza al D.M. del 17.01.2018 (Nuove norme tecniche per le costruzioni), i calcoli di portanza delle fondazioni sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Nelle verifiche di sicurezza sono stati presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Le combinazioni di carico sono state determinate in riferimento al par. 6.4.3.1 del D.M. 14/01/2018 e di seguito riportate:

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

$$\sum_{i=1}^3 \gamma_{gi} \cdot g_i + \sum_{i=1}^4 \gamma_{ei} \cdot \varepsilon_i + \gamma_Q \cdot q_1 + \sum_{i=2}^7 \gamma_{qi} \cdot \psi_{0i} \cdot q_i$$

Le combinazioni di carico significative utilizzate per le verifiche geotecniche e strutturali sono state condotte in relazione alla stratigrafia di progetto secondo l'Approccio 2, il quale prevede per le verifiche geotecniche nei riguardi dei carichi assiali e trasversali:

Le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1" e "Approccio 2", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 5.1.V per i parametri geotecnici e le azioni.

- Approccio 1 - Combinazione 1 →(A1+M1+R1) → STR
- Approccio 1 - Combinazione 2 →(A2+M2+R2) → GEO → Verifica di stabilità globale intesa come mobilitazione resistenza passiva terreno di valle
- Approccio 2 →(A1+M1+R3) → GEO → Portanza verticale pali

Il valore di progetto  $R_d$  della resistenza geotecnica si ottiene a partire dal valore  $R_k$  calcolato applicando i coefficienti parziali ai parametri geotecnici del terreno M1 e applicando i coefficienti parziali globali  $\gamma_R$  alla resistenza totale.

Si riportano di seguito i coefficienti sopra menzionati:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
	$\gamma_R$			
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

\* da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nel caso in esame si ottiene:

$$\gamma_b = 1.35$$

$$\gamma_s = 1.15$$

$$\xi_3 = 1.65 \text{ (avendo 2 verticali indagate)}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

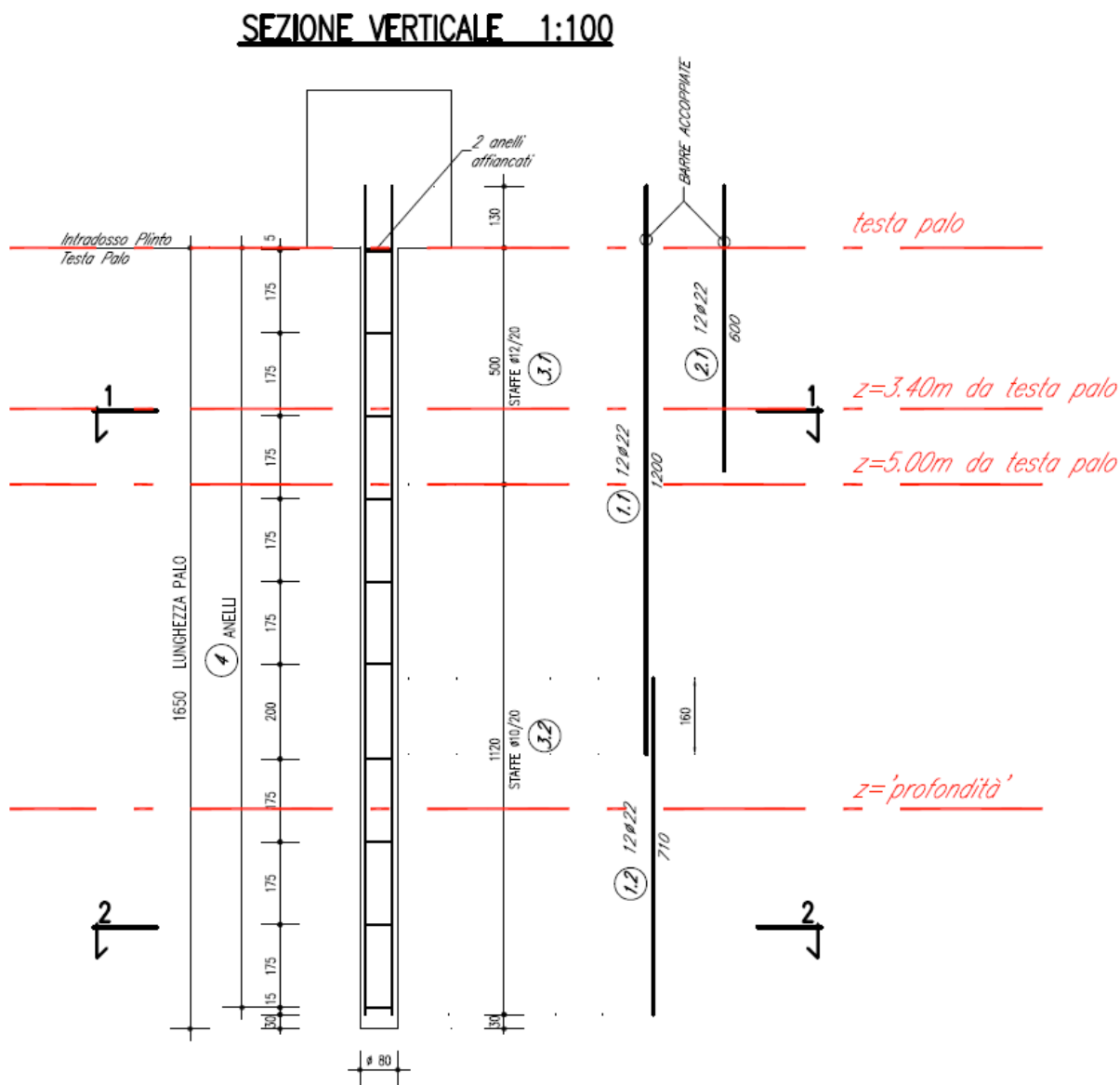
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.2. Sollecitazioni

Si riportano di seguito le sollecitazioni nei pali di fondazione alle varie quote di interesse, in quanto è presente un calo di armature (long e staffe) lungo lo sviluppo del palo.

Si riporta nel seguito schema, le quote di calcolo delle sollecitazioni sulla base della distinta armature (ci si arresta ad una lunghezza pari alla lunghezza di ancoraggio delle barre longitudinali per definire queste quote):



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le verifiche vengono quindi eseguite con le seguenti armature:

	Arm. Long.	Staffe
Testa palo	24φ22	φ12/20
z=3.4m da t.p.	12φ22	φ12/20
z=5.0m da t.p.	12φ22	φ10/20
z='profondità'	12φ22	φ10/20

Si riportano di seguito le sollecitazioni nei pali. Le sollecitazioni risultano quelle derivanti dal modello di ParatiePlus, i cui diagrammi sono esposto nel Capitolo 10.

		Pesi Strutt.	PePo + Spinte	Traffico Comp.	Traffico Traz.	Termica Giorn.	Termica Stag.	Ritiro	Sovraccarico	Vento Comp.	Vento Traz.	Sisma - Long.	Sisma - Trasn.	
<b>N</b>		kN	410	23	144	-5	0	0	0	276	-276	165	550	
<b>T</b>	testa palo	kN	0	26	115	0	-14	-10	5	0	91	0	64	129
	z=5m da t.p.	kN	0	13	21	0	6	19	0	1	4	0	18	37
	profondità	kN	0	-52	-4	0	-5	2	0	-3	-2	0	6	13
<b>M</b>	testa palo	kNm	0	-27	-268	0	-67	-82	-27	-3	-123	0	-134	-264
	z=3.4m da t.p.	kNm	0	40	-37	0	21	121	-9	-1	-16	0	-35	-11
	z=5.0m da t.p.	kNm	0	58	6	0	11	64	-3	4	4	0	34	50
	profondità	kNm	0	105	22	0	-3	-8	2	6	10	0	20	53

Per quanto riguarda invece l'azione a palo la si è calcolata manualmente come:

- $P_{imp} = 8.53 \times 2 \times 44.60 / 2 / 2 = 190 \text{ kN}$
- $P_{PePo} = 1.00 \times 2 \times 46.00 / 2 / 2 = 23 \text{ kN}$
- $P_{Spalla} = 2.64 \times 1.80 \times 3.70 \times 25 / 2 = 220 \text{ kN}$
- $P_{traffico} = 5.00 \times 2.50 \times 46.00 / 2 / 2 = 144 \text{ kN}$

Mentre per quanto riguarda l'azione verticale del vento, si determina prima la flessione trasversale alla quota testa pali che questo genera, e dopodichè si procede a determinare l'azione verticale a palo tramite modello di calcolo ipotizzando i pali come molle di rigidezza k e la spalla come elemento infinitamente rigido:

$$F_{vento} = (1.12 \times 46.0 \times 2.96 / 2) = 76 \text{ kN}$$

$$M_{vento} = (76 \times 4.34) = 331 \text{ kNm}$$

- $P_{vento} = 331 / 1.20 = \pm 276 \text{ kN}$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Per quanto riguarda l'azione sismica si è proceduto in due differenti modi per la direzione trasversale e longitudinale. In direzione longitudinale si sono estratti i risultati direttamente dal modello di calcolo secondo quanto descritto nel paragrafo di modellazione ed analisi sismica.

Mentre per quanto riguarda la direzione trasversale si è effettuato un calcolo manuale dettagliato di seguito. Si riporta l'accelerazione sismica orizzontale e verticale:

$$a_h (T=0) = 0.258g$$

$$a_v (T=0) = 0.087g$$

Le azioni sismiche in direzione trasversale sono generate dai pesi propri di impalcato e spalle e dai pesi portati, che su una spalla producono un carico verticale di:

$$P_{PP} = (8.53+1) \times 2 \times 44.60 / 2 = 425 \text{ kN}$$

$$P_{Spalla} = 1.80 \times 2.64 \times 3.70 \times 25 = 440 \text{ kN}$$

$$P_{tot \text{ su spalla}} = 425 + 440 = 865 \text{ kN}$$

La forza sismica orizzontale trasversale diventa:

$$F_H = 865 \times 0.258 = 241 \text{ kN}$$

Ed il momento flettente a base spalla:

$$M = 425 \times 0.258 \times 3.7 + 440 \times 0.258 \times 3.70 / 2 = 615 \text{ kNm}$$

Di conseguenza il carico verticale a palo, deriva sia da un contributo da sisma verticale (considerato secondario) e dal sisma trasversale (principale):

$$F_{sis,1} = (425+440) \times 0.087 / 2 + 615 / 1.20 = \pm 550 \text{ kN}$$

Mentre il taglio risulta pari a:

$$T = 241 / 2 = 121 \text{ kN}$$

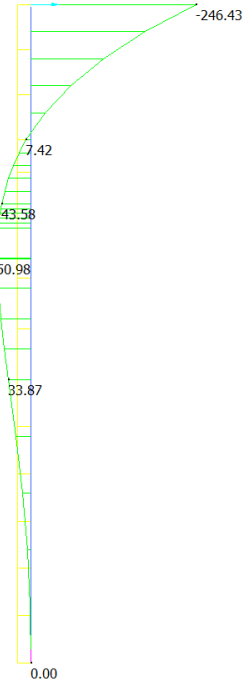
Per conoscere l'andamento del taglio e del momento lungo la verticale del palo, a causa di questo taglio sismico in testa, è stato realizzato un modello di palo immerso nel terreno, il quale ha fornito i seguenti andamenti:

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

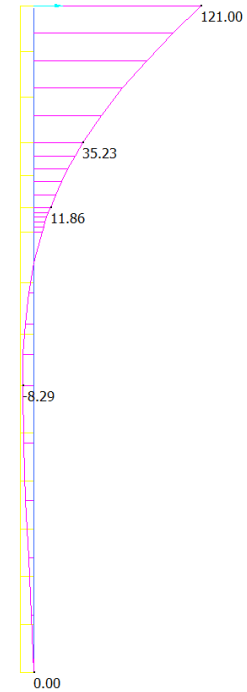
Documento

Relazione di calcolo strutturale

	MIN	MAX
BM2(kN.m)	-246.43	50.98
	[Bm:1]	[Bm:4]



	MIN	MAX
SF2(kN)	-8.29	121.00
	[Bm:5]	[Bm:1]



Si ottengono le seguenti sollecitazioni combinate:

SOLLECITAZIONI								
			SLU	SLE rara	SLE Fr	SLE QP	SIS SLV Long.	SIS SLV Trasv.
<b>N max comp.</b>		kN	1144	817	541	433	598	983
<b>N traz.</b>		kN	12	262	429	433	268	-117
<b>T</b>	<b>testa palo</b>	kN	327	235	135	31	91	169
	<b>z=5m da t.p.</b>	kN	88	63	50	31	55	78
	<b>z=13.1m da t.p.</b>	kN	-101	-74	-71	-64	-58	-49
<b>M</b>	<b>testa palo</b>	kNm	-804	-582	-395	-154	-300	-456
	<b>z=3.4m da t.p.</b>	kNm	286	207	150	133	108	138
	<b>z=5.6m da t.p.</b>	kNm	248	173	124	115	165	184
	<b>profondità</b>	kNm	220	169	154	128	142	181

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3. Verifiche Strutturali

### 12.4.3.1. Verifiche a flessione SLU – Sez. testa palo

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Diametro	80	cm
Armatura corrente	24Ø22	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

804 < 943 → Verifica soddisfatta.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.2. Verifiche a flessione SLU – Sez. 3.4/5.0/profondità da testa palo

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Diametro	80	cm
Armatura corrente	12Ø22	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 40 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 12
- Diametro barre: 2.2 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipologia 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

**Materiali**

B450C		C25/30	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	14.17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.6
		$\tau_{c1}$	1.829

**Metodo di calcolo**

- S.L.U.+
- S.L.U.-
- Metodo n

**Tipologia flessione**

- Retta
- Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

**Calcoli:** M<sub>xRd</sub>: 517.9 kNm  
 $\sigma_c$ : -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 10.19 ‰  
d: 71.5 cm  
x: 18.28 x/d: 0.2556  
 $\delta$ : 0.7595

286 < 518 → Verifica soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.3. Verifiche Limitazione tensione SLE Rara – Sez. testa palo

**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 40 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 24
- Diametro barre: 2.2 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

**N° barre**: 0 **Zoom**

**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 kNm

**P.to applicazione N**

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

xN: 0  
yN: 0

**Metodo di calcolo**

- S.L.U.+
- S.L.U.-
- Metodo n

**Materiali**

B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200,000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 14.17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9.75
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.6
	$\tau_{c1}$ 1.829

**σ<sub>c</sub>**: -13.63 N/mm<sup>2</sup>  
**σ<sub>s</sub>**: 328.9 N/mm<sup>2</sup>  
**ε<sub>s</sub>**: 1.644 ‰  
**d**: 71.5 cm  
**x**: 27.41 **x/d**: 0.3834  
**δ**: 0.9192

**Vertici**: 52  
**N° iterazioni**: 4

**Verifica**  Precompresso

Avendo  $\sigma_c = 13.63 \text{ MPa} < 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$  e

$\sigma_s = 329 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.4. Verifiche Limitazione tensione SLE Rara – Sez. 3.4/5.0/profondità da testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File
— □ ×

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :**

N° barre

**Tipo Sezione**

Rettan.re    Trapezi

a T    Circolare

Rettangoli    Coord.

File

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno  [cm]

Raggio interno  [cm]

N° barre uguali

Diametro barre  [cm]

Copriferro (baric.)  [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>	kN	<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>
M <sub>xEd</sub>	<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>	kNm	<input style="width: 40px;" type="text" value="207"/>
M <sub>yEd</sub>	<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>		<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro    Baricentro cls

Coord. [cm]   xN

yN

**Materiali**

<input type="button" value="B450C"/>	<input type="button" value="C25/30"/>
ε <sub>su</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="67.5"/> ‰	ε <sub>c2</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="2"/> ‰
f <sub>yd</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="3.5"/>
E <sub>s</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="200.000"/> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="14.17"/>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="0.8"/> ?
ε <sub>syd</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="1.957"/> ‰	σ <sub>c,adm</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="9.75"/>
σ <sub>s,adm</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="0.6"/>
	τ <sub>c1</sub> <input style="width: 40px;" type="text" value="1.829"/>

σ <sub>c</sub>	<input style="width: 40px;" type="text" value="-6.989"/> N/mm <sup>2</sup>
σ <sub>s</sub>	<input style="width: 40px;" type="text" value="218.3"/> N/mm <sup>2</sup>
ε <sub>s</sub>	<input style="width: 40px;" type="text" value="1.091"/> ‰
d	<input style="width: 40px;" type="text" value="71.5"/> cm
x	<input style="width: 40px;" type="text" value="23.2"/> x/d <input style="width: 40px;" type="text" value="0.3245"/>
	δ <input style="width: 40px;" type="text" value="0.8456"/>

Vertici:

N° iterazioni:

Precompresso

Avendo  $\sigma_c = 6.99 \text{ MPa} < 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$  e  
 $\sigma_s = 218 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

Pag. 436/474

a cura di: PIACENTINI  
INGEGNERI

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.5. Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Sez. testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File
File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno:  [cm]

Raggio interno:  [cm]

N° barre uguali:

Diametro barre:  [cm]

Copriferro (baric.):  [cm]

N° barre:  Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="395"/> kNm
M <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Materiali**

B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ <input type="text" value="67.5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$ <input type="text" value="2"/> ‰
$f_{yd}$ <input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input type="text" value="3.5"/>
$E_s$ <input type="text" value="200,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <input type="text" value="14.17"/>
$E_s/E_c$ <input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$ <input type="text" value="0.8"/> ?
$\epsilon_{syd}$ <input type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="9.75"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input type="text" value="0.6"/>
	$\tau_{c1}$ <input type="text" value="1.829"/>

$\sigma_c$	<input type="text" value="-9.251"/> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	<input type="text" value="223.2"/> N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon_s$	<input type="text" value="1.116"/> ‰
d	<input type="text" value="71.5"/> cm
x	<input type="text" value="27.41"/> x/d <input type="text" value="0.3834"/>
	$\delta$ <input type="text" value="0.9192"/>

Vertici:

N° iterazioni:

Precompresso

Caratteristiche dei materiali			
Coefficiente di omogeneizzazione	n =	15	
Classe cls	f <sub>ck</sub> =	25	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico acciaio	E <sub>s</sub> =	2.1E+05	N/mm <sup>2</sup>
Caratteristiche geometriche della sezione			
Diametro	D =	80	cm

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Area armatura esterna	$A_{se} =$	91.2	$cm^2$
Copriferro baricentro acciaio esterno	$c_s =$	8.5	cm
Area armatura interna	$A_{si} =$	0	$cm^2$
Copriferro baricentro acciaio interno	$c's =$	0	cm
Ricoprimento barre più esterne	$c =$	7.2	cm
Ricoprimento barre più interne	$c+S =$	0.0	cm
Diametro massimo barre	$\Phi =$	2.2	cm
<b>Sezione non fessurata: formazione fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di esercizio	$M_{es} =$	395.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di esercizio	$N_{es} =$	0.00	kN
Rapporto sforzo normale/momento	$res =$	0.00000	$cm^{-1}$
Resistenza media a trazione semplice del cls	$f_{ctm} =$	2.56	$N/mm^2$
Resistenza caratt. a trazione per fless. del cls	$f_{ctm} =$	2.15	$N/mm^2$
Area ideale	$A_{cid} =$	6392	$cm^2$
Momento d'inerzia area ideale	$J_{cid} =$	2688299	$cm^4$
Modulo di resistenza non fessurato	$W_{sr} =$	67207	$cm^3$
Momento di formazione delle fessure	$M_{ff} =$	144.80	kNm
Trazione nel cls prodotta da $M_{es}$ ed $N_{es}$	$\sigma_{ct} =$	5.88	$N/mm^2$
	$\sigma_{ct} > f_{ct}$	<b>si formano le fessure</b>	
Momento di fessurazione	$M_{sr} =$	172.4	kNm
<b>Sezione fessurata: apertura fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di fessurazione	$M =$	395.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di fessurazione	$N =$	0.00	kN
Rapporto sforzo normale/momento	$r =$	0.00000	
Distanza asse neutro da lembo compresso	$x_p =$	27.41	cm
Tensione cls	$\sigma_c =$	-9.25	$N/mm^2$
Tensione barra esterna tesa	$\sigma_s =$	223.20	$N/mm^2$
Tensione nell'acciaio prodotta da $M_{sr}$	$\sigma_{sr} =$	97.41	$N/mm^2$
<b>Distanza media fra due fessure attigue</b>			
Distanza media barre	$s =$	9.0	cm
Coefficiente $k_2$	$k_2 =$	0.4	
Tensioni nel calcestruzzo teso	$\sigma_1 =$	5.88	$N/mm^2$
Tensioni nel calcestruzzo compresso	$\sigma_2 =$	-5.88	$N/mm^2$
Coefficiente $k_3$	$k_3 =$	0.125	
Larghezza efficace	$b_{eff} =$	9.0	cm
Altezza efficace	$d_{eff} =$	16.5	cm
Area efficace	$A_{ceff} =$	148.5	$cm^2$
Area armature poste in $A_{ceff}$	$A_s =$	3.8	$cm^2$

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

Distanza media fra due fessure attigue	$s_{rm} =$	20.50	cm
<b>Deformazione unitaria media</b>			
Coefficiente $\beta_1$	$\beta_1 =$	1.0	
Coefficiente $\beta_2$	$\beta_2 =$	0.5	
Deformazione unitaria media	$\epsilon_{sm} =$	9.62E-04	
<b>Ampiezza fessura</b>	$w_k =$	0.335	mm
	$w_k < w_{amm}$	<b>Verificato</b>	

La fessura ha un'apertura di 0.335mm <  $w_3=0.4$ mm.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.6. Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Sez. 3.4/5.0/profondità da testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 40 [cm]

Raggio interno: 0 [cm]

N° barre uguali: 12

Diametro barre: 2.2 [cm]

Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

N° barre: 0

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N <sub>Ed</sub>	0	0	kN
M <sub>xEd</sub>	0	154	kNm
M <sub>yEd</sub>	0	0	

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm]    xN: 0    yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C25/30</b>
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200,000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 14.17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9.75
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0.6
	$\tau_{cl}$ 1.829

$\sigma_c$  -5.2 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  162.4 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$  0.8119 ‰

d 71.5 cm

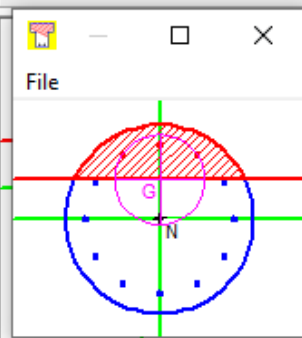
x 23.2    x/d 0.3245

$\delta$  0.8456

Vertici: 52

N° iterazioni: 4

Precompresso



Caratteristiche dei materiali			
Coefficiente di omogeneizzazione	n =	15	
Classe cls	$f_{ck}$ =	25	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico acciaio	$E_s$ =	2.1E+05	N/mm <sup>2</sup>
Caratteristiche geometriche della sezione			
Diametro	D =	80	cm

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Area armatura esterna	$A_{se} =$	45.6	$cm^2$
Copriferro baricentro acciaio esterno	$c_s =$	8.5	cm
Area armatura interna	$A_{si} =$	0	$cm^2$
Copriferro baricentro acciaio interno	$c's =$	0	cm
Ricoprimento barre più esterne	$c =$	7.2	cm
Ricoprimento barre più interne	$c+S =$	0.0	cm
Diametro massimo barre	$\Phi =$	2.2	cm
<b>Sezione non fessurata: formazione fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di esercizio	$M_{es} =$	154.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di esercizio	$N_{es} =$	0.00	kN
Rapporto sforzo normale/momento	$r_{es} =$	0.00000	$cm^{-1}$
Resistenza media a trazione semplice del cls	$f_{ctm} =$	2.56	$N/mm^2$
Resistenza caratt. a trazione per fless. del cls	$f_{ctm} =$	2.15	$N/mm^2$
Area ideale	$A_{cid} =$	5708	$cm^2$
Momento d'inerzia area ideale	$J_{cid} =$	2348950	$cm^4$
Modulo di resistenza non fessurato	$W_{sr} =$	58724	$cm^3$
Momento di formazione delle fessure	$M_{ff} =$	126.52	kNm
Trazione nel cls prodotta da $M_{es}$ ed $N_{es}$	$\sigma_{ct} =$	2.62	$N/mm^2$
	$\sigma_{ct} > f_{ct}$	<b>si formano le fessure</b>	
Momento di fessurazione	$M_{sr} =$	150.6	kNm
<b>Sezione fessurata: apertura fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di fessurazione	$M =$	154.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di fessurazione	$N =$	0.00	kN
Rapporto sforzo normale/momento	$r =$	0.00000	
Distanza asse neutro da lembo compresso	$x_p =$	23.2	cm
Tensione cls	$\sigma_c =$	-5.20	$N/mm^2$
Tensione barra esterna tesa	$\sigma_s =$	162.40	$N/mm^2$
Tensione nell'acciaio prodotta da $M_{sr}$	$\sigma_{sr} =$	158.84	$N/mm^2$
<b>Distanza media fra due fessure attigue</b>			
Distanza media barre	$s =$	18.0	cm
Coefficiente $k_2$	$k_2 =$	0.4	
Tensioni nel calcestruzzo teso	$\sigma_1 =$	2.62	$N/mm^2$
Tensioni nel calcestruzzo compresso	$\sigma_2 =$	-2.62	$N/mm^2$
Coefficiente $k_3$	$k_3 =$	0.125	
Larghezza efficace	$b_{eff} =$	18.0	cm
Altezza efficace	$d_{eff} =$	16.5	cm
Area efficace	$A_{ceff} =$	297.0	$cm^2$
Area armature poste in $A_{ceff}$	$A_s =$	3.8	$cm^2$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Distanza media fra due fessure attigue	$s_{rm} =$	26.60	cm
<b>Deformazione unitaria media</b>			
Coefficiente $\beta_1$	$\beta_1 =$	1.0	
Coefficiente $\beta_2$	$\beta_2 =$	0.5	
Deformazione unitaria media	$\epsilon_{sm} =$	4.03E-04	
<b>Ampiezza fessura</b>	$w_k =$	0.182	mm
	$w_k < w_{amm}$	<b>Verificato</b>	

La fessura ha un'apertura di 0.182mm <  $w_3=0.4$ mm.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.7. Verifiche Limitazione tensione e Fessurazione SLE Quasi permanente – Sez. testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File:
— □ ×

File
Materiali
Opzioni
Visualizza
Progetto Sez. Rett.
Sismica
Normativa: NTC 2008 ?

📁 📄 🖨️

**Titolo :**

**N° barre**  **Zoom**

**Tipo Sezione**

Rettan.re    Trapezi

a T    Circolare

Rettangoli    Coord.

**Sezione circolare cava**

**Raggio esterno**  [cm]

**Raggio interno**  [cm]

**N° barre uguali**

**Diametro barre**  [cm]

**Copriferro (baric.)**  [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U.    Metodo n

<b>N</b>	<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>		<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>	kN
<b>M<sub>xEd</sub></b>	<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>		<input style="width: 40px;" type="text" value="154"/>	kNm
<b>M<sub>yEd</sub></b>	<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>		<input style="width: 40px;" type="text" value="0"/>	

**P.to applicazione N**

Centro    Baricentro cls

Coord.[cm]   xN

yN

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C25/30</b>
$\epsilon_{su}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="67.5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="2"/> ‰
$f_{yd}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="3.5"/>
$E_s$ <input style="width: 40px;" type="text" value="200,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="14.17"/>
$E_s/E_c$ <input style="width: 40px;" type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="0.8"/> ?
$\epsilon_{syd}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="9.75"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="0.6"/>
	$\tau_{c1}$ <input style="width: 40px;" type="text" value="1.829"/>

$\sigma_c$	<input style="width: 40px;" type="text" value="-3.607"/> N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	<input style="width: 40px;" type="text" value="87.02"/> N/mm <sup>2</sup>
$\epsilon_s$	<input style="width: 40px;" type="text" value="0.4351"/> ‰
d	<input style="width: 40px;" type="text" value="71.5"/> cm
x	<input style="width: 40px;" type="text" value="27.41"/> x/d <input style="width: 40px;" type="text" value="0.3834"/>
	$\delta$ <input style="width: 40px;" type="text" value="0.9192"/>

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+    S.L.U.-

Metodo n

**Vertici:**

**Verifica**

**N° iterazioni:**

Precompresso

Vista le tensioni su clacestruzzo e armatura assolutamente limitate si ritiene la verifica sia tensionale che di fessurazione automaticamente soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.8. Verifiche Limitazione tensione e Fessurazione SLE Quasi permanente – Sez. 3.4/5.0/profondità da testa palo

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

**Raggio esterno**  [cm]

**Raggio interno**  [cm]

**N° barre uguali**

**Diametro barre**  [cm]

**Copriferro (baric.)**  [cm]

**N° barre**  **Zoom**

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

<b>N</b> <sub>Ed</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
<b>M</b> <sub>xEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="133"/> kNm
<b>M</b> <sub>yEd</sub>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN   
yN

**Materiali**

$\epsilon_{su}$	<input type="text" value="67.5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$	<input type="text" value="2"/> ‰
$f_{yd}$	<input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	<input type="text" value="3.5"/>
$E_s$	<input type="text" value="200.000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	<input type="text" value="14.17"/>
$E_s/E_c$	<input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$	<input type="text" value="0.8"/> ?
$\epsilon_{syd}$	<input type="text" value="1.957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="9.75"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	<input type="text" value="0.6"/>
		$\tau_{c1}$	<input type="text" value="1.829"/>

$\sigma_c$	<input type="text" value="-4.491"/> N/mm <sup>2</sup>		
$\sigma_s$	<input type="text" value="140.2"/> N/mm <sup>2</sup>		
$\epsilon_s$	<input type="text" value="0.7012"/> ‰		
d	<input type="text" value="71.5"/> cm		
x	<input type="text" value="23.2"/>	x/d	<input type="text" value="0.3245"/>
$\delta$	<input type="text" value="0.8456"/>		

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Vertici:**

**Verifica**

**N° iterazioni:**

Precompresso

Caratteristiche dei materiali			
Coefficiente di omogeneizzazione	n =	15	
Classe cls	$f_{ck}$ =	25	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico acciaio	$E_s$ =	2.1E+05	N/mm <sup>2</sup>
Caratteristiche geometriche della sezione			

Pag. 444/474

a cura di: PIACENTINI  
INGEGNERI

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Diametro	D =	80	cm
Area armatura esterna	A <sub>se</sub> =	45.6	cm <sup>2</sup>
Copriferro baricentro acciaio esterno	c <sub>s</sub> =	8.5	cm
Area armatura interna	A <sub>si</sub> =	0	cm <sup>2</sup>
Copriferro baricentro acciaio interno	c' <sub>s</sub> =	0	cm
Ricoprimento barre più esterne	c =	7.2	cm
Ricoprimento barre più interne	c+S =	0.0	cm
Diametro massimo barre	Φ =	2.2	cm
<b>Sezione non fessurata: formazione fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di esercizio	M <sub>es</sub> =	133.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di esercizio	N <sub>es</sub> =	0.00	kN
Rapporto sforzo normale/momento	res =	0.00000	cm <sup>-1</sup>
Resistenza media a trazione semplice del cls	f <sub>ctm</sub> =	2.56	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratt. a trazione per fless. del cls	f <sub>ctm</sub> =	2.15	N/mm <sup>2</sup>
Area ideale	A <sub>cid</sub> =	5708	cm <sup>2</sup>
Momento d'inerzia area ideale	J <sub>cid</sub> =	2348950	cm <sup>4</sup>
Modulo di resistenza non fessurato	W <sub>sr</sub> =	58724	cm <sup>3</sup>
Momento di formazione delle fessure	M <sub>ff</sub> =	126.52	kNm
Trazione nel cls prodotta da M <sub>es</sub> ed N <sub>es</sub>	σ <sub>ct</sub> =	2.26	N/mm <sup>2</sup>
	σ <sub>ct</sub> > f <sub>ct</sub>	<b>si formano le fessure</b>	
Momento di fessurazione	M <sub>sr</sub> =	150.6	kNm
<b>Sezione fessurata: apertura fessure</b>			
Momento flettente in condizioni di fessurazione	M =	154.00	kNm
Sforzo assiale in condizioni di fessurazione	N =	0.00	kN
Rapporto sforzo normale/momento	r =	0.00000	
Distanza asse neutro da lembo compresso	x <sub>p</sub> =	23.2	cm
Tensione cls	σ <sub>c</sub> =	-4.49	N/mm <sup>2</sup>
Tensione barra esterna tesa	σ <sub>s</sub> =	140.00	N/mm <sup>2</sup>
Tensione nell'acciaio prodotta da M <sub>sr</sub>	σ <sub>sr</sub> =	136.93	N/mm <sup>2</sup>
<b>Distanza media fra due fessure attigue</b>			
Distanza media barre	s =	18.0	cm
Coefficiente k <sub>2</sub>	k <sub>2</sub> =	0.4	
Tensioni nel calcestruzzo teso	σ <sub>1</sub> =	2.62	N/mm <sup>2</sup>
Tensioni nel calcestruzzo compresso	σ <sub>2</sub> =	-2.62	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente k <sub>3</sub>	k <sub>3</sub> =	0.125	
Larghezza efficace	b <sub>eff</sub> =	18.0	cm
Altezza efficace	d <sub>eff</sub> =	16.5	cm
Area efficace	A <sub>ceff</sub> =	297.0	cm <sup>2</sup>

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

Area armature poste in $A_{ceff}$	$A_s =$	3.8	$cm^2$
Distanza media fra due fessure attigue	$s_{rm} =$	26.60	cm
<b>Deformazione unitaria media</b>			
Coefficiente $\beta_1$	$\beta_1 =$	1.0	
Coefficiente $\beta_2$	$\beta_2 =$	0.5	
Deformazione unitaria media	$\epsilon_{sm} =$	3.48E-04	
<b>Ampiezza fessura</b>	$w_k =$	<b>0.157</b>	mm
	$w_k < w_{amm}$	<b>Verificato</b>	

La fessura ha un'apertura di 0.157mm <  $w_2=0.3$ mm. Verifica soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 12.4.3.9. Verifiche a taglio SLU – Sez. testa palo

Il palo è armato con staffe  $\phi 12/20$ :

$V_{sdu}$	327	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{c=}$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\Phi$	80	cm
$bw$	72.00	cm
$d$	72.00	cm
$he$	56.48	cm
$de$	47.98	cm
$Asl$	91.2	cm <sup>2</sup>
$c$	8.50	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	17.12	gradi
$ctg\theta$	3.25	
$\theta_{imposto}$	-	gradi
$Asw$	2.26	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20	cm
$f_{cd}$	14.167	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd_{0,05}}$	1.119	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	218.815	kN
$V_{Rd,min}$	127.623	kN
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	619.713	kN
$V_{Rsd}$	619.713	kN
$V_{Rd}$	619.713	kN

La verifica è soddisfatta.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**12.4.3.10. Verifiche a taglio SLU – Sez. 5m da testa palo**

Il palo è armato con staffe  $\phi 10/20$ :

$V_{sdu}$	101	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{c=}$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\Phi$	80	cm
$bw$	72.00	cm
$d$	72.00	cm
$he$	56.48	cm
$de$	47.98	cm
$A_{sl}$	45.6	cm <sup>2</sup>
$c$	8.50	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	14.21	gradi
$ctg\theta$	3.95	
$\theta_{imposto}$	-	gradi
$A_{sw}$	1.57	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20	cm
$f_{cd}$	14.167	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd_{0,05}}$	1.119	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	173.674	kN
$V_{Rd,min}$	127.623	kN
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	523.951	kN
$V_{Rsd}$	523.951	kN
$V_{Rd}$	523.951	kN

La verifica è soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## 12.4.4. Verifiche Geotecniche

### 12.4.4.1. Portanza verticale

Si riporta di seguito la verifica di portanza verticale della palificata. Si specifica che la massima azione assiale SLU in combo A1+M1+R3 sui pali risulta pari a **2579 kN**.

Il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione viene svolto adottando, in termini generali, i seguenti criteri, attualizzati al metodo agli Stati Limite:

Si pone:

$$Q_{u,b} = A_{base} \cdot q_{u,b} \quad \text{portata limite alla base}$$

$$Q_{u,s} = \text{Perimetro} \cdot \int_{z_t}^{z_b} q_{u,s} \cdot dz \quad \text{portata limite per attrito laterale}$$

dove:

D = diametro del palo

$q_{u,b}$  = pressione limite alla base del palo

$q_{u,s}$  = tensione tangenziale limite lungo il fusto del palo

$z_b$  = profondità della base del palo da testa palo

$z_t$  = profondità della testa del palo da testa palo

Per quanto riguarda i pali, ovviamente si pone:

$$A_{base} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad ;$$

$$\text{Perimetro} = \pi \cdot D$$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Nel seguito vengono presentate le trattazioni che permettono di valutare il valore di  $q_{u,b}$  e di  $q_{u,s}$ , in funzione del tipo di terreno considerato.

## Pressione limite alla base:

Per *materiali granulari* vale:

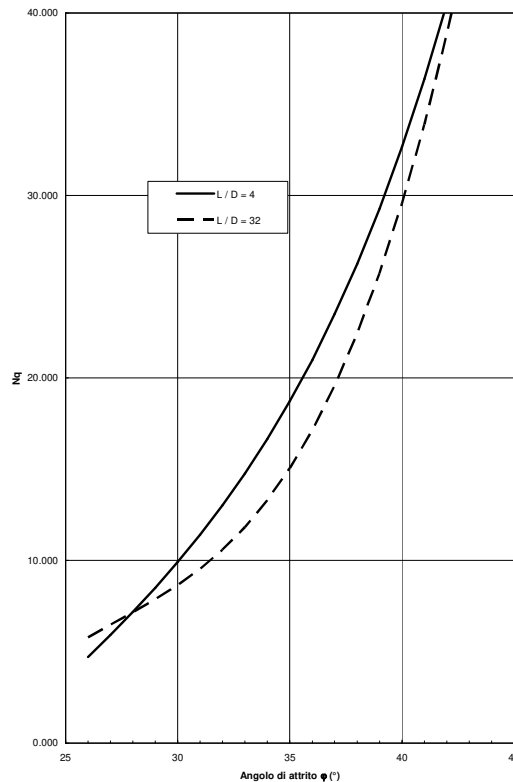
$$(q_{u,b})_{\frac{s}{D}=0.1} = N_q \cdot \sigma'_{v0} \leq (q_{u,b})_{\max}$$

Dove:

$\sigma'_{v0}$  = sforzo litostatico efficace alla base del palo

$(q_{u,b})_{\max} = 4.0 \text{ MPa}$

$N_q$  in accordo alla figura seguente:



Per materiali coesivi vale la pressione ultima di base è fornita dalla seguente espressione:

$$q_{u,b} = 9 \cdot c_{u,b}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

dove  $c_{u,b}$  rappresenta il parametro di resistenza al taglio del terreno in condizioni non drenate alla base del palo.

## Tensione tangenziale limite lungo il fusto del palo:

Per materiali granulari vale:

$$t_{us} = K \cdot \sigma'_{v0} \cdot \tan \phi'$$

dove:

K = coefficiente empirico che viene assunto pari a 0.7

$\phi'_i$  = angolo di attrito del terreno

$$(\tau_{u,s})_{\max} = 3.0 \cdot N_{SPT} \quad \text{per } N_{SPT} \leq 53$$

Reese e Wright [1977]

$$(\tau_{u,s})_{\max} = 142 + 0.32 \cdot N_{SPT} \quad \text{per } N_{SPT} > 53$$

Reese e Wright [1977]

Per materiali coesivi vale:

$$\tau_{u,s} = \alpha \cdot c_u$$

dove:

$\alpha$  = coefficiente empirico valutato secondo AGI

$c_u$  = parametro di resistenza al taglio del terreno in condizioni non drenate

Per la definizione del fattore di riduzione  $\alpha$  si considerano le formulazioni indicate dall'AGI [1984] sotto riportate:

0.9 per  $c_u \leq 25$  kPa;

0.8 per  $25 < c_u \leq 50$  kPa;

0.6 per  $50 < c_u \leq 75$  kPa;

0.4 per  $c_u > 75$  kPa.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

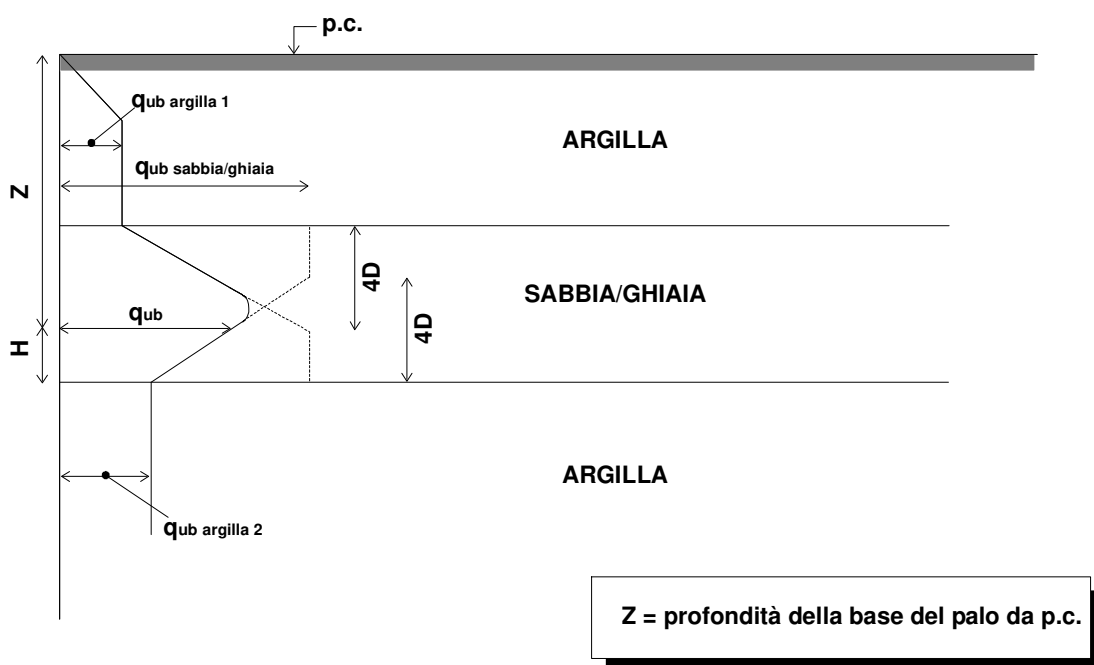
Documento

Relazione di calcolo strutturale

La tensione tangenziale ultima deve rispettare le seguenti limitazioni:

$$\tau_{u,s} \leq 100kPa \quad \text{AGI [dicembre 1984]}$$

Nel caso di terreni stratificati, costituiti da alternanze di strati di limi e argille sature e di sabbie e ghiaie, i criteri di valutazione delle portate laterali limite rimangono analoghi a quelli descritti in precedenza; la portata di base negli strati sabbioso-ghiaiosi viene invece abbattuta rispetto a quella caratteristica dello strato supposto omogeneo in accordo allo schema riportato in figura seguente:



Criterio di valutazione della pressione ultima di base ( $q_{u,b}$ )  
in terreni stratificati (modificata da Meyerhof, 1976)

Alla luce dell'approccio agli Stati limite, in accordo con la Normativa Italiana, la capacità portate del palo, in linea generale, sarà calcolata e verificata per la seguente combinazione:

A1+M1+R3

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Le resistenze ultime di calcolo  $R_{c,cal}$  sono da intendersi come quantificate in ragione dei risultati ottenuti per ogni verticale.

Le resistenze caratteristiche  $R_{c,k}$  saranno quindi desunte da questi valori, tramite la correlazione:

$$R_{c,k} = \min ((R_{c,cal})_{media} / \xi_3 ; ((R_{c,cal})_{min} / \xi_4)$$

in cui

$(R_{c,cal})_{media}$  = resistenza media di progetto;

$(R_{c,cal})_{min}$  = resistenza minima di progetto;

$\xi_3$  e  $\xi_4$  vengono desunti dalla tabella 6.4.IV di NTC2018, di seguito riportata, considerando 2 verticali indagate;

*Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate*

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tabella 12-1: fattori di correlazione (Tabella 6.4.IV di NTC2018)

Infine la resistenza di progetto, è pari a:

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_R$$

Pertanto, la portata di progetto sarà data dalle seguenti espressioni:

$$R_{c,d} = \frac{(R_{c,k})^{base}}{(\gamma_R^{base})} + \frac{(R_{c,k})^{laterale}}{(\gamma_R^{laterale})} - \gamma_G W' \quad \text{a compressione}$$

$$R_{T,d} = \frac{(R_{c,k})^{laterale}}{(\gamma_R^{laterale, trazione})} \quad \text{trazione}$$

in cui  $W'$  = peso del palo sommerso al netto del peso del terreno asportato

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

## Portata della palificata

La capacità portante di un gruppo di pali non è uguale alla somma delle capacità portanti dei pali considerati isolati, si può quindi valutare la riduzione di portanza attraverso un coefficiente di efficienza  $\varepsilon$  del gruppo di pali. Il coefficiente di efficienza  $\varepsilon$  è il rapporto tra la portanza della palificata e la somma delle portanze dei singoli pali:

$$P_{p\text{ult}} = \varepsilon n P_{\text{ult}}$$

La valutazione dell'efficienza della palificata viene eseguita avvalendosi della formula di Converse e Labarre, formula valida per i pali che interagiscono tra di loro, ma che raggiungono comunque crisi isolata:

$$\varepsilon = 1 - \arctg \frac{D}{i} \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 m \cdot n} \right]$$

Mentre per i pali  $\phi$  800 mm vale:

D = diametro dei pali = 0.80 m

i = interasse dei pali = 1.33 m

m = file di pali = 1

n = pali per ciascuna fila = 2

Nel caso in parola viene moltiplicata la portata laterale del palo  $\phi$  800 mm secondo il coefficiente di efficienza pari a:

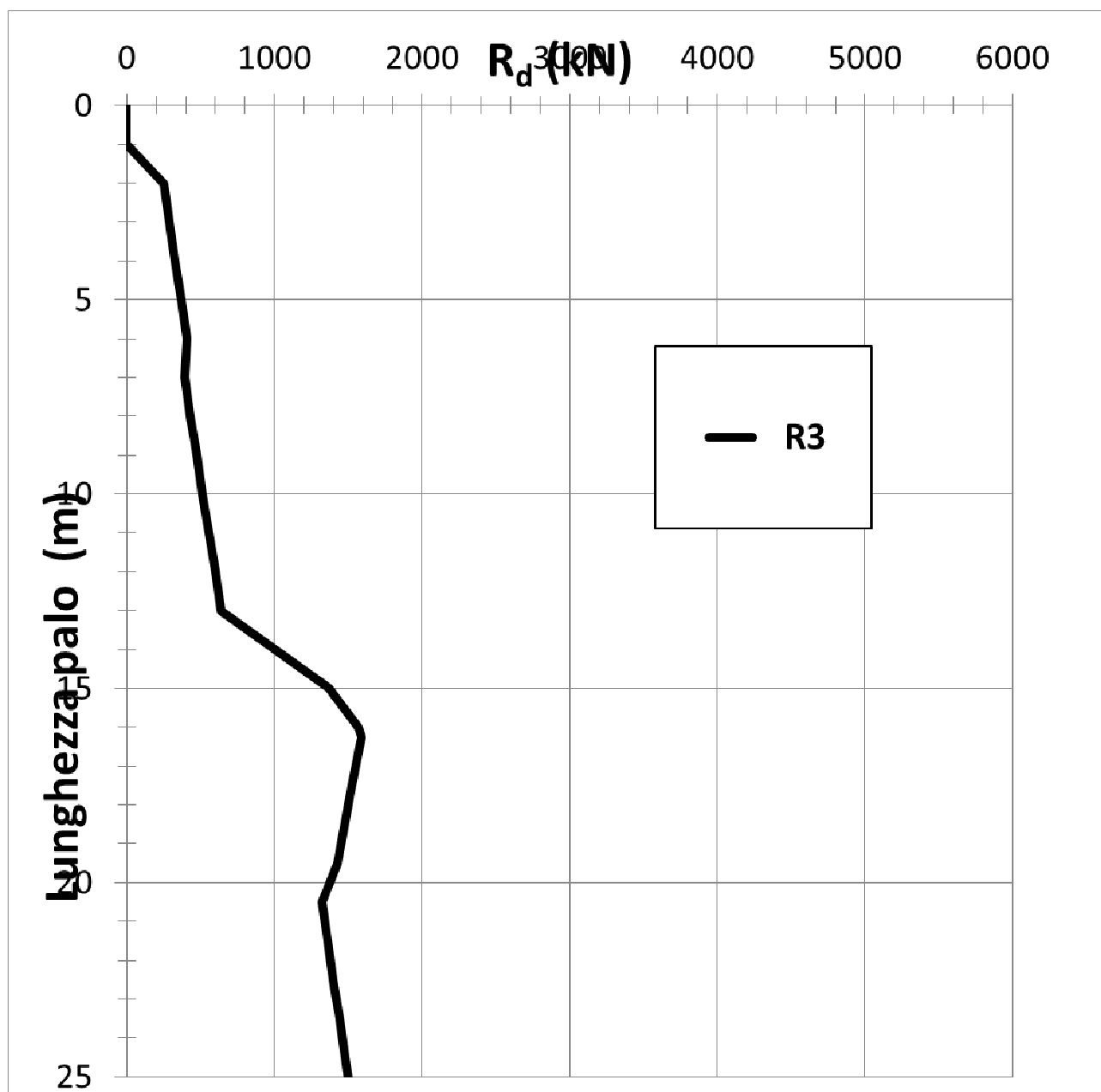
$$\varepsilon = 0.724$$



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

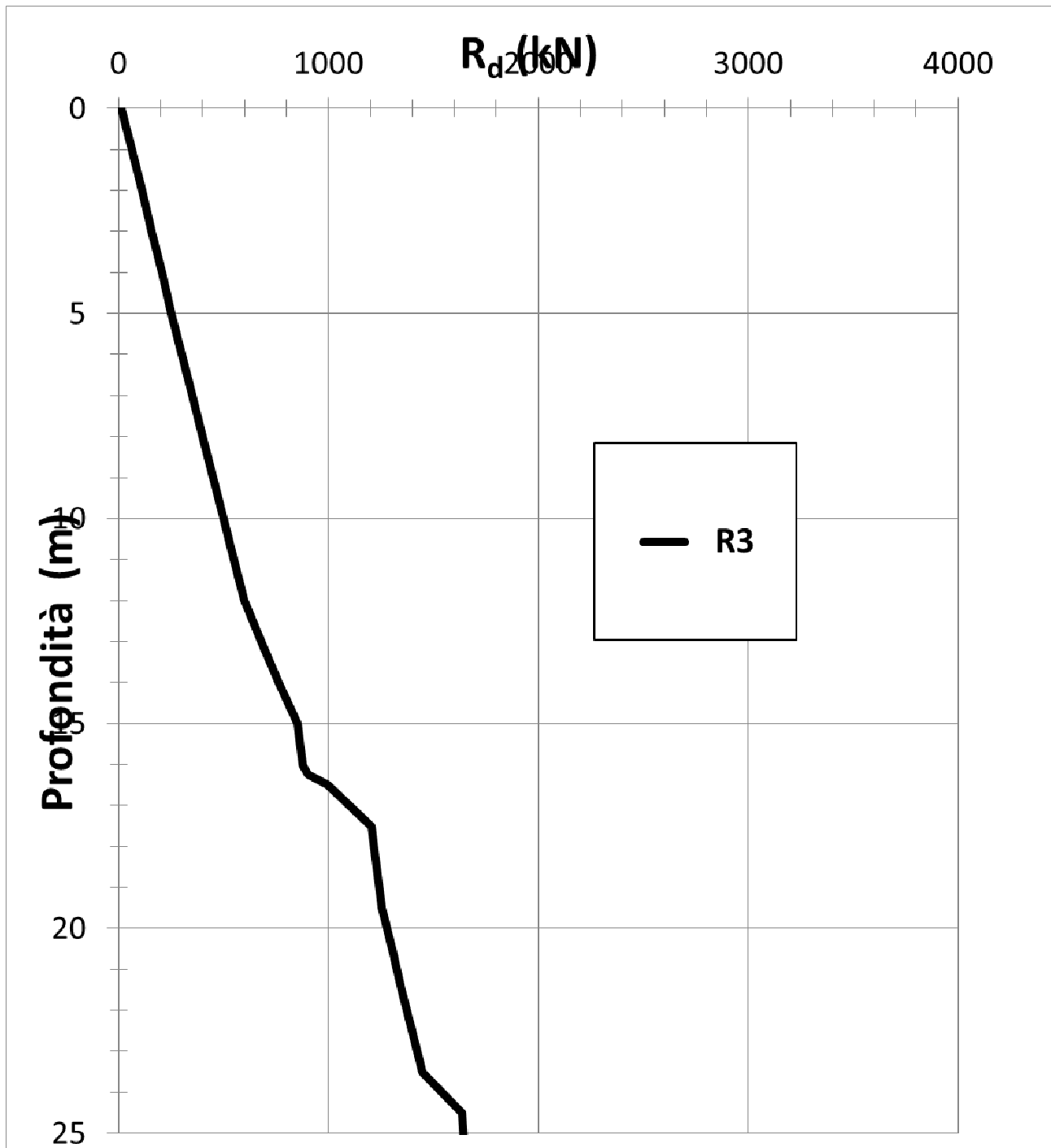


Essendo la massima compressione pari a 1144 kN e che la resistenza con palo lungo 16.5m è pari a 1574 kN la verifica risulta soddisfatta.

INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

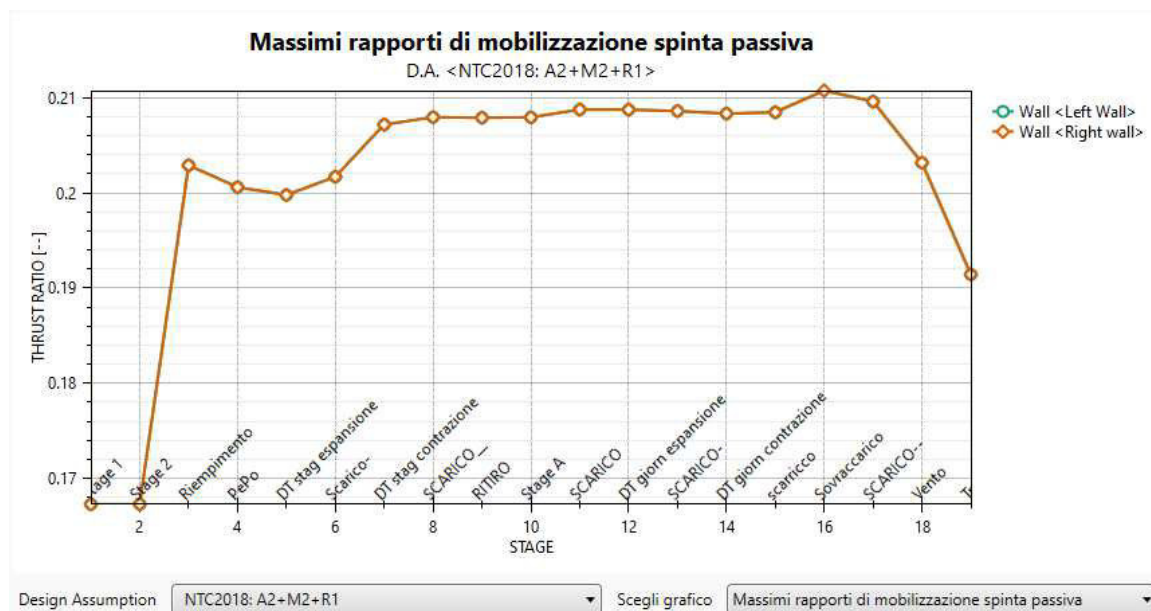
## 12.4.4.2. Mobilitazione spinta passiva di valle

Si verifica di seguito la spalla, intesa come paratia avente una fila di pali a passo  $2\Phi$ , nei confronti del meccanismo di collasso geotecnico indotto dal raggiungimento della resistenza del terreno contro cui spinge la paratia.

Come da NTC18 al prg. 6.5.3.1.2, la suddetta verifica deve essere eseguita utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 2 ovvero coefficienti  $A2+M2+R1$ .

Questa verifica viene condotta automaticamente dal software ParatiePlus, il quale impostando correttamente le combinazioni definite in NTC, permette di visualizzare il rapporto di mobilitazione della resistenza passiva del terreno rispetto le spinte realmente agenti.

Si riporta a tal proposito un grafico che mostra l'andamento della mobilitazione delle resistenze del terreno, rispetto la spinta passiva, nelle varie fasi di realizzazione/caricamento dell'opera. In questo diagrammi vengono contemplati esclusivamente i carichi permanenti e variabili statici.



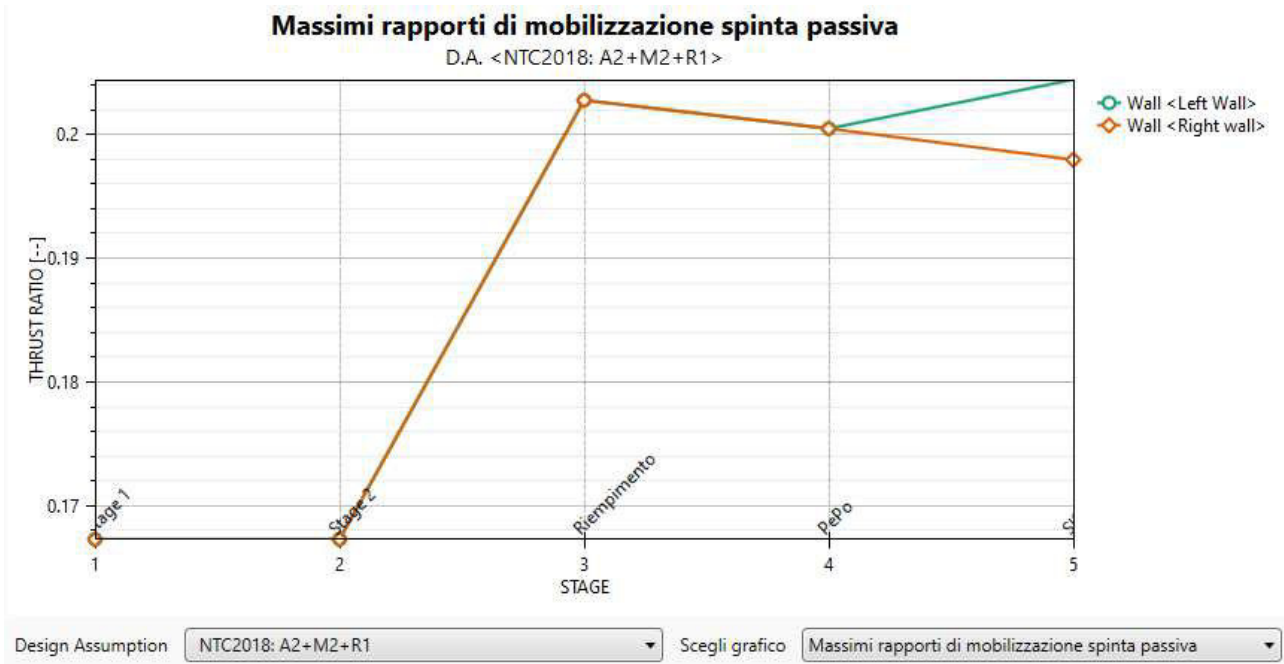
Come visibile dal diagramma si raggiunge al massimo un rapporto pari a 0.21, ovvero abbondantemente inferiore al valore  $R1$  che è unitario.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

Per quanto riguarda la combinazione sismica, si ottiene il seguente grafico di mobilitazione della resistenza passiva:



Anche in questo lo sfruttamento è abbondantemente inferiore all'unità e quindi verificato.

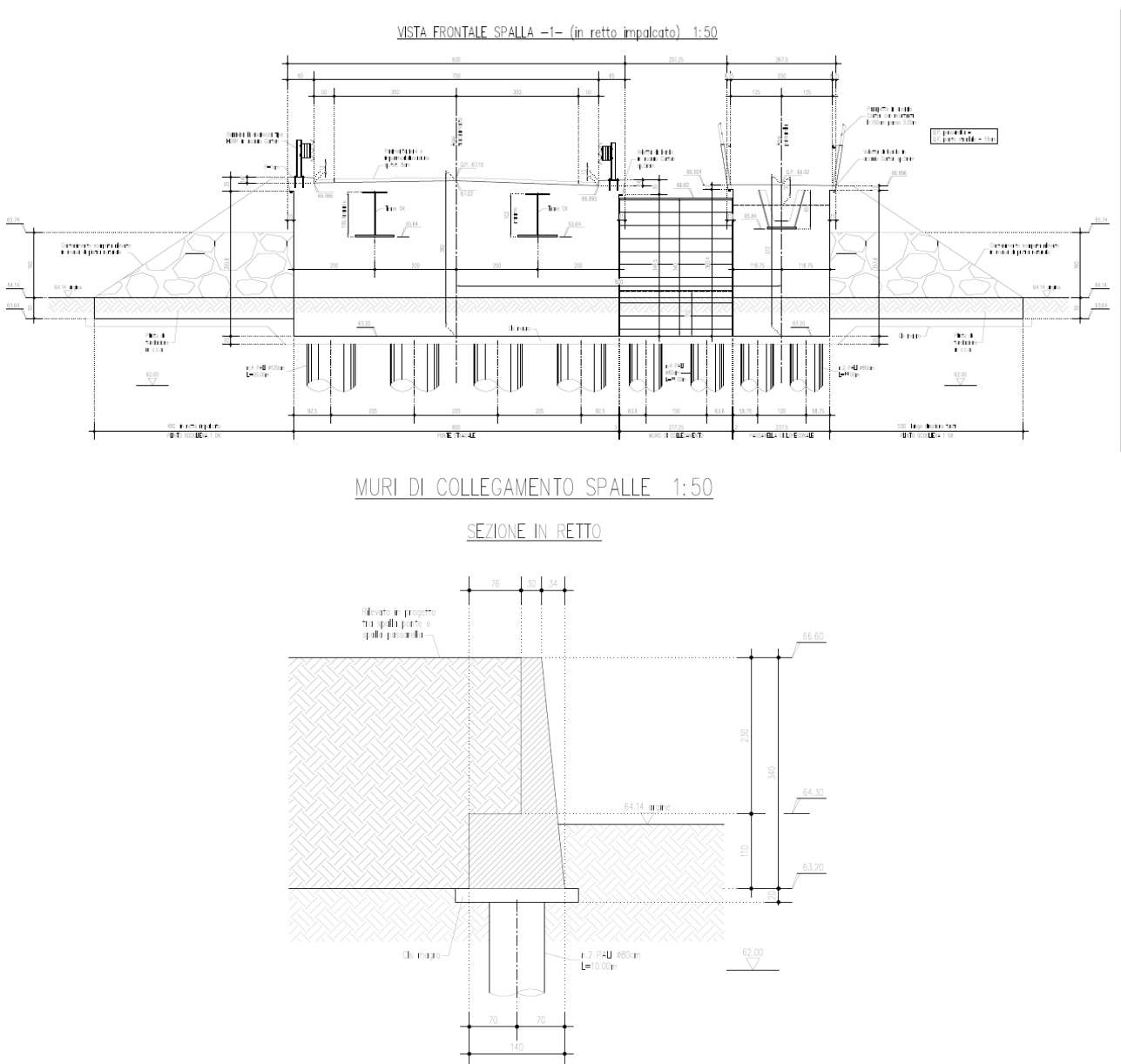
# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13. MURO DI COLLEGAMENTO

Nel tratto di congiunzione tra il ponte stradale e la passerella pedonale, in corrispondenza delle spalle, viene realizzato un Muro di collegamento, che risulta alto 3.40m e attestato su due pali  $\phi 800$  lunghi 10m. Si riporta di seguito un prospetto ed una sezione:

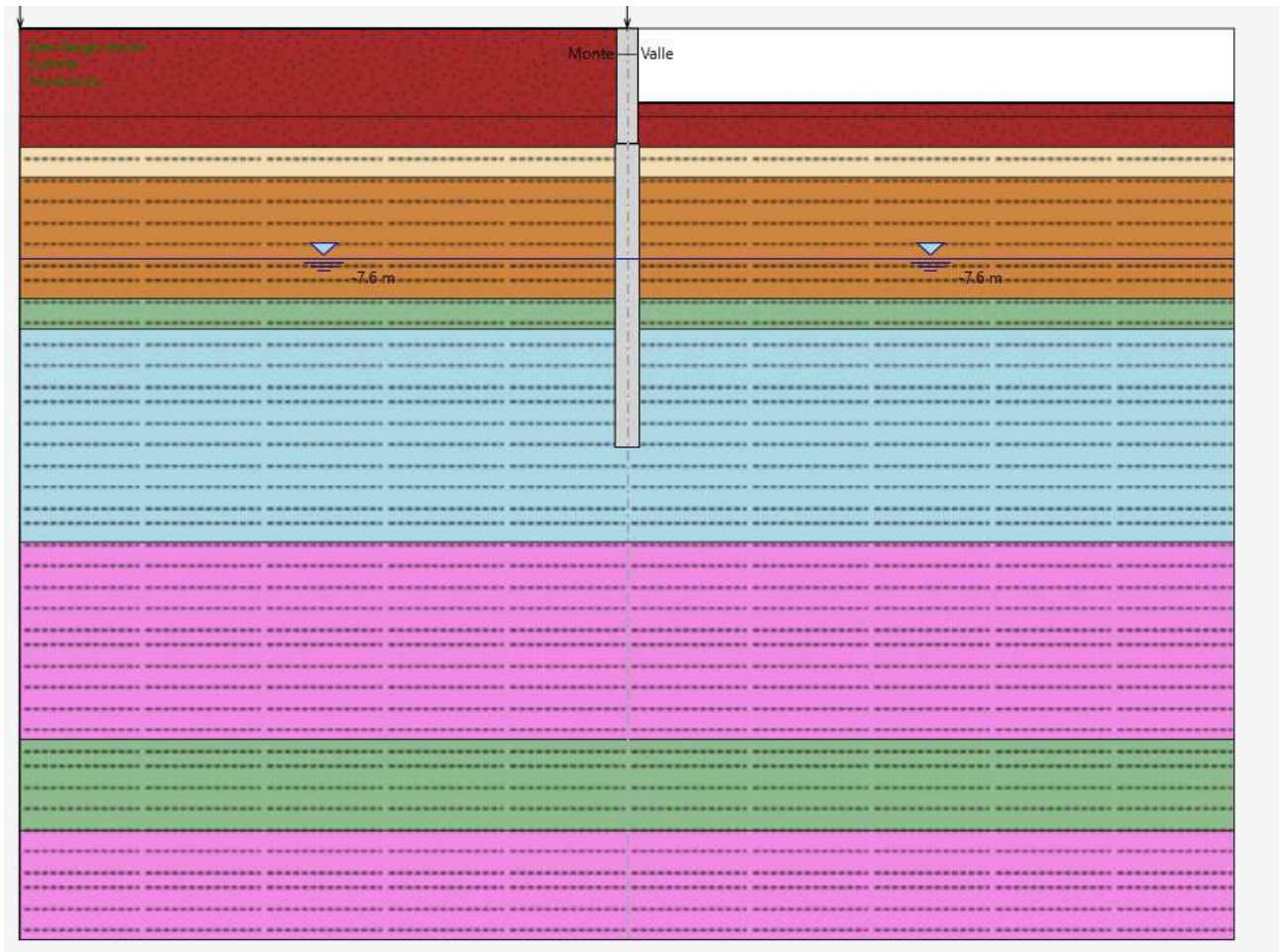


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

La struttura viene risolta con il programma ParatiePlus, nel quale viene inserito il fusto di spessore equivalente medio pari a 47cm e i pali sottostanti di diametro 800mm e passo 1.67m. Si riporta di seguito un'immagine del modello:



Il modello viene risolto impostato la costruzione per fasi:

- 1° fase: Condizione geostatica con terreno a quota campagna
- Costruzione pali e fusto del muro
- Riempimento con terreno da rilevato a tergo muro
- Applicazione sovraccarico distribuito a monte muro di 5 kPa
- Applicazione spinta sismica (partendo da condizione permanente priva di sovraccarico)

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

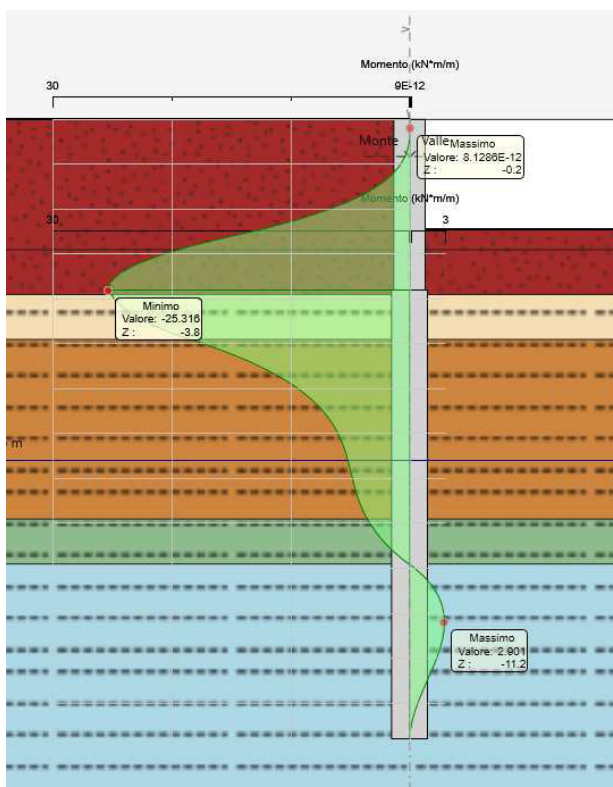
Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13.1. Sollecitazioni

Si riporta di seguito il diagramma di taglio e momento nelle diverse fasi:

- Riempimento a monte:



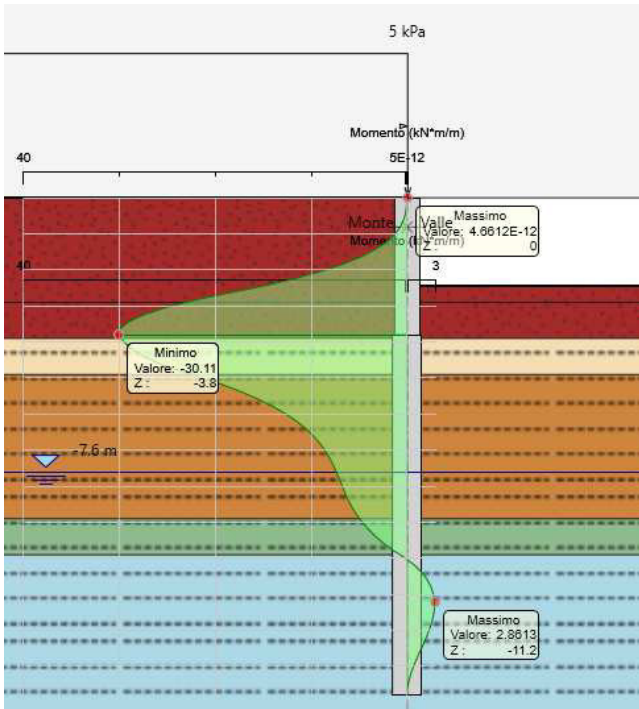


# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

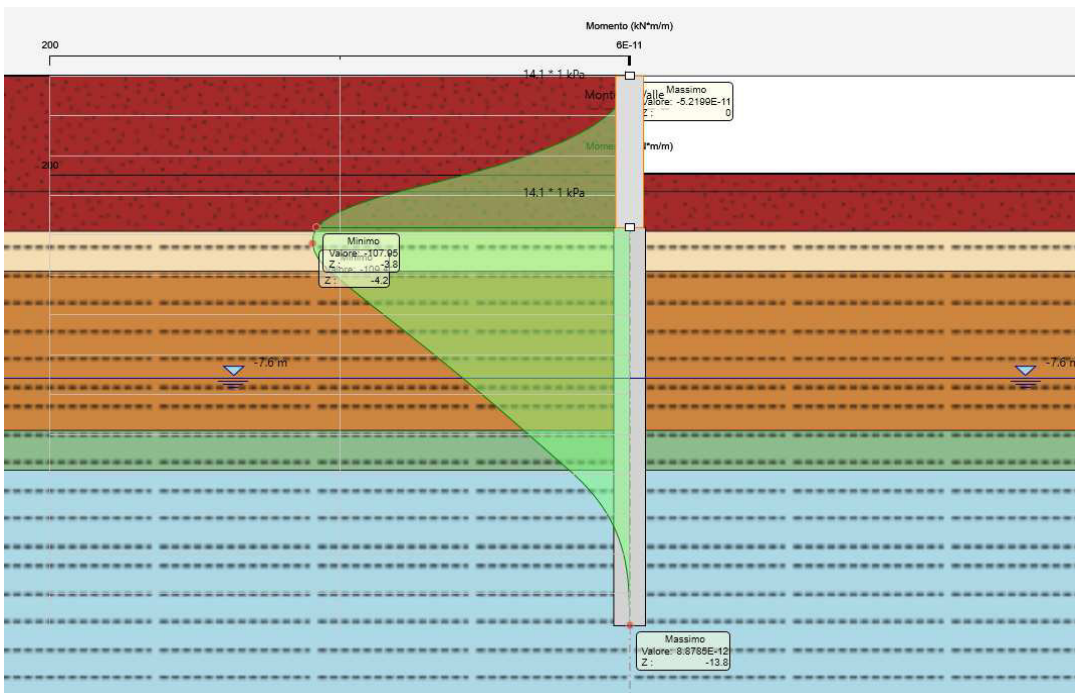
Documento

Relazione di calcolo strutturale

- Sovraccarico 5 kPa:



- Spinta sismica:



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

---

Si ottengono le seguenti sollecitazioni. Le sollecitazioni massime sono all'interfaccia tra fusto e palo, per cui basta determinare quelle per il fusto e per risalire alle sollecitazioni nel palo bisognerà solo moltiplicare questi risultati per l'interasse pali pari a 1.67m.

Le sollecitazioni nel fusto valgono:

$$M_{SLU} = 25 \times 1.35 + (30-25) \times 1.35 = 46 \text{ kNm/m}$$

$$M_{SLV} = 25 + (108-25) = 108 \text{ kNm/m}$$

$$M_{SLE \text{ RARA}} = 25 + (30-25) \times 0.75 = 29 \text{ kNm/m}$$

$$M_{SLE \text{ FREQUENTE}} = 25 + (30-25) \times 0.75 = 29 \text{ kNm/m}$$

$$M_{SLE \text{ QUASI PERM.}} = 25 + (30-25) \times 0.00 = 25 \text{ kNm/m}$$

$$T_{SLU} = 18 \times 1.35 + (21-18) \times 1.35 = 33 \text{ kN/m}$$

$$T_{SLV} = 60 \text{ kN/m}$$

Per le sollecitazioni nel palo si ottiene quindi:

$$M_{SLU} = 46 \text{ kNm/m} \times 1.67 = 77 \text{ kNm}$$

$$M_{SLV} = 109 \text{ kNm/m} \times 1.67 = 182 \text{ kNm}$$

$$M_{SLE \text{ RARA}} = 29 \text{ kNm/m} \times 1.67 = 48 \text{ kNm}$$

$$M_{SLE \text{ FREQUENTE}} = 29 \text{ kNm/m} \times 1.67 = 48 \text{ kNm}$$

$$M_{SLE \text{ QUASI PERM.}} = 25 \text{ kNm/m} \times 1.67 = 42 \text{ kNm}$$

$$T_{SLU} = 33 \times 1.67 = 55 \text{ kN}$$

$$T_{SLV} = 47 \times 1.67 = 79 \text{ kN}$$

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13.2. Verifiche Strutturali Muro elevazione

### 13.2.1. Verifiche a flessione SLU – Muro

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Base	100	Cm
Altezza	53	Cm
Armatura tesa	Ø16/20	
Armatura compressa	Ø12/20	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

108 < 187 → Verifica soddisfatta.



# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13.2.2. Verifiche Limitazione tensione SLE Rara – Muro

Verifica C.A. S.L.U. - File: muro transiz

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	53

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	5.65	48

**Tipologia Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Materiali**

<b>B450C</b>	<b>C32/40</b>
$\epsilon_{su}$ <input type="text" value="67.5"/> ‰	$\epsilon_{c2}$ <input type="text" value="2"/> ‰
$f_{yd}$ <input type="text" value="391.3"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input type="text" value="3.5"/> ‰
$E_s$ <input type="text" value="210,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ <input type="text" value="18.13"/> ‰
$E_s/E_c$ <input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_{cd}$ <input type="text" value="0.8"/> ?
$\epsilon_{syd}$ <input type="text" value="1.863"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="12.25"/>
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="255"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input type="text" value="0.7333"/>
	$\tau_{c1}$ <input type="text" value="2.114"/>

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN   
yN

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d

$\delta$

Avendo  $\sigma_c = 1.17 \text{ MPa} < 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$  e

$\sigma_s = 65 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13.2.3. Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Muro

Verifica C.A. S.L.U. - File: muro transiz

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	53	1	10.05	5
			2	5.65	48

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  kNm

M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Materiali**

<p><b>B450C</b></p> <p><math>\epsilon_{su}</math> <input type="text" value="67.5"/> ‰</p> <p><math>f_{yd}</math> <input type="text" value="391.3"/> N/mm<sup>2</sup></p> <p><math>E_s</math> <input type="text" value="210,000"/> N/mm<sup>2</sup></p> <p><math>E_s/E_c</math> <input type="text" value="15"/></p> <p><math>\epsilon_{syd}</math> <input type="text" value="1.863"/> ‰</p> <p><math>\sigma_{s,adm}</math> <input type="text" value="255"/> N/mm<sup>2</sup></p>	<p><b>C32/40</b></p> <p><math>\epsilon_{c2}</math> <input type="text" value="2"/> ‰</p> <p><math>\epsilon_{cu}</math> <input type="text" value="3.5"/></p> <p><math>f_{cd}</math> <input type="text" value="18.13"/></p> <p><math>f_{cc}/f_{cd}</math> <input type="text" value="0.8"/> ?</p> <p><math>\sigma_{c,adm}</math> <input type="text" value="12.25"/></p> <p><math>\tau_{co}</math> <input type="text" value="0.7333"/></p> <p><math>\tau_{c1}</math> <input type="text" value="2.114"/></p>
---	--

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d

$\delta$

**Verifica**

N° iterazioni:

Precompresso

Visto le tensioni molto ridotte sull'armatura si ritiene la verifica automaticamente soddisfatta.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**13.2.4. Verifiche a taglio SLU – Muro**

$V_{sdu}$	60	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	32	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{c=}$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$bw$	100	cm
$d$	48.00	cm
$Asl$	10.05	cm <sup>2</sup>
$c$	5.00	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$f_{cd}$	18.133	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd_{0,05}}$	1.735	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	178.681	kN
$V_{Rd,min}$	200.600	kN

La verifica è soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

## 13.3. Verifiche Strutturali Pali di Fondazione

### 13.3.1. Verifiche a flessione SLU – Palo

La verifica viene svolta nella sezione di incastro con l'impalcato, ovvero dove vi è il massimo momento flettente.

Caratteristiche sezioni di verifica		
Diametro	80	Cm
Armatura	12Ø20	
Staffe	Ø10/20	

Si trascura cautelativamente il contributo benefico di compressione assiale sulla sezione per la flessione.

**Verifica C.A. S.L.U. - File**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 40 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 12  
 Diametro barre: 2 [cm]  
 Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

B450C C25/30

ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200,000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 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>: 9.75 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

M<sub>xRd</sub>: 440.1 kNm

σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub>: 11.18 ‰  
 d: 71.5 cm  
 x: 17.05 x/d: 0.2384  
 δ: 0.738

**Tipo Sezione**

Rettan.re Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli Coord.

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+ S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

182 < 440 → Verifica soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13.3.2. Verifiche Limitazione tensione SLE Rara – Palo

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 40 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 12
- Diametro barre: 2 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

**Tipologia Sezione**

- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.

**Carichi**

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)

**Materiali**

B450C		C25/30	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	14.17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.6
		$\tau_{c1}$	1.829

**Metodo di calcolo**

- S.L.U.+
- S.L.U.-
- Metodo n

**Risultati**

- $\sigma_c$ : -1.786 N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s$ : 60.11 N/mm<sup>2</sup>
- $\epsilon_s$ : 0.3005 ‰
- d: 71.5 cm
- x: 22.05, x/d: 0.3083
- $\delta$ : 0.8254

Vertici: 52  
N° iterazioni: 4  
Precompresso:

Avendo  $\sigma_c = 1.78 \text{ MPa} < 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$  e  
 $\sigma_s = 60 \text{ MPa} < 0.8 \times 450 = 360 \text{ MPa}$ .

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13.3.3. Verifiche Fessurazione SLE Frequente – Palo

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays various input and output parameters for a circular hollow section verification.

**Sezione circolare cava:**

- Raggio esterno: 40 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 12
- Diametro barre: 2 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.5 [cm]

**Sollecitazioni:**

- S.L.U. Metodo n
- $N_{Ed}$ : 0 kN
- $M_{xEd}$ : 0 kNm
- $M_{yEd}$ : 0 kNm

**P.to applicazione N:**

- Centro (selected)
- Baricentro cls
- Coord.[cm]: xN 0, yN 0

**Materiali:**

B450C		C25/30	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200,000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	14.17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.6
		$\tau_{c1}$	1.829

**Results:**

- $\sigma_c$ : -1.786 N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s$ : 60.11 N/mm<sup>2</sup>
- $\epsilon_s$ : 0.3005 ‰
- d: 71.5 cm
- x: 22.05, x/d: 0.3083
- $\delta$ : 0.8254

**Metodo di calcolo:** S.L.U.+ (selected), S.L.U.-, Metodo n

**Vertici:** 52

**Verifica** button

**N° iterazioni:** 4

Precompresso

Visto le tensioni molto ridotte sull'armatura si ritiene la verifica automaticamente soddisfatta.

**INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE  
ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO**

Documento

Relazione di calcolo strutturale

**13.3.4. Verifiche a taglio SLU – Palo**

$V_{sdu}$	79	kN
$M_{sdu}$	-	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	25	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\Phi$	80	cm
$bw$	72.00	cm
$d$	72.00	cm
$he$	56.48	cm
$de$	47.98	cm
$A_{sl}$	37.68	cm <sup>2</sup>
$c$	8.50	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$\theta$	21.80	gradi
$ctg\theta$	2.50	
$\theta_{imposto}$	21.80	gradi
$A_{sw}$	1.57	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20	cm
$f_{cd}$	14.167	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd_{0,05}}$	1.119	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cp}$	0.0000	N/mm <sup>2</sup>
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$V_{Rd}$	162.973	kN
$V_{Rd,min}$	127.623	kN
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$V_{Rcd}$	759.368	kN
$V_{Rsd}$	331.633	kN
$V_{Rd}$	331.633	kN

La verifica è quindi soddisfatta.

# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

Documento

Relazione di calcolo strutturale

## 13.4. Verifiche Geotecniche

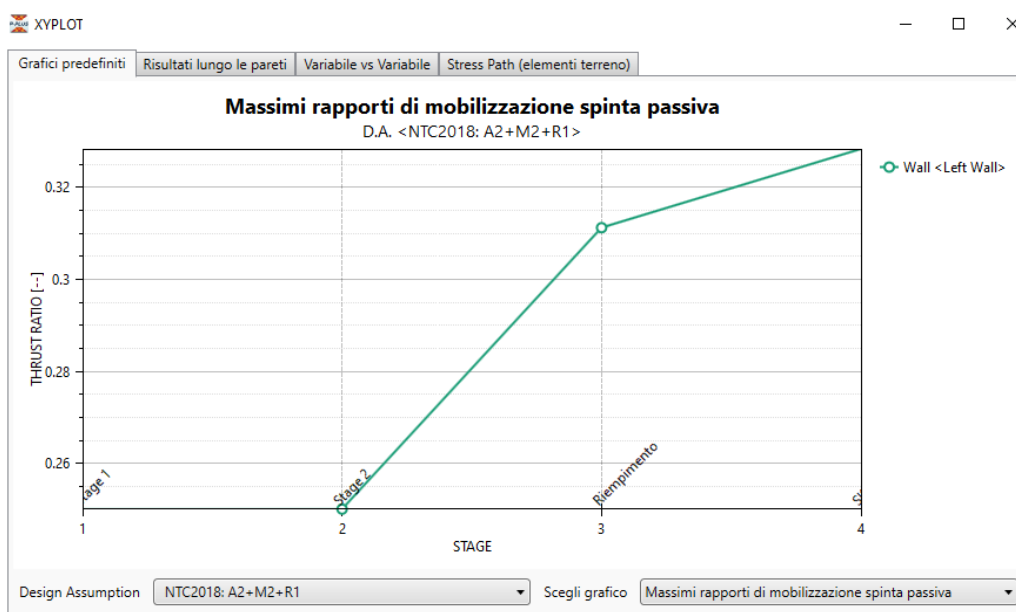
### 13.4.1. Mobilitazione spinta passiva di valle

Si verifica di seguito del muro, inteso come paratia, nei confronti del meccanismo di collasso geotecnico indotto dal raggiungimento della resistenza del terreno contro cui spinge la paratia.

Come da NTC18 al prg. 6.5.3.1.2, la suddetta verifica deve essere eseguita utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 2 ovvero coefficienti A2+M2+R1.

Questa verifica viene condotta automaticamente dal software ParatiePlus, il quale impostando correttamente le combinazioni definite in NTC, permette di visualizzare il rapporto di mobilitazione della resistenza passiva del terreno rispetto le spinte realmente agenti.

Si riporta a tal proposito un grafico che mostra l'andamento della mobilitazione delle resistenze del terreno, rispetto la spinta passiva, nelle varie fasi di realizzazione/caricamento dell'opera. In questo diagrammi vengono contemplati esclusivamente i carichi permanenti e variabili statici.





# INTERVENTO DI RIFACIMENTO PONTE E COLLEGAMENTO ALLE ARGINATURE ESISTENTI A QUOTA ADEGUATA DEL NODO LOC.S. DONNINO

**Documento**

**Relazione di calcolo strutturale**

---

Come visibile dal diagramma si raggiunge al massimo un rapporto pari a 0.33 (in fase sismica), ovvero abbondantemente inferiore al valore R1 che è unitario.