



PROVINCIA DI MANTOVA

Area Lavori Pubblici
Servizio Gestione e Manutenzione Strade Provinciali e
Regolazione Circolazione Stradale

*Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla Sp ex SS
420 sul Canale Sabbioncelli in Comune di Sabbioneta per il ripristino
della capacità portante*



PROGETTO ESECUTIVO

IL DISEGNO E' DI PROPRIETA' DELLA PROVINCIA DI MANTOVA. E' VIETATA QUALSIASI RIPRODUZIONE, ANCHE PARZIALE, NON AUTORIZZATA.

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO

N° sequenziale:

3

Scala:

-

Data di consegna:

Febbraio 2026

Codice elaborato	Fase progetto:	Tipo elaborato:	Categoria:	Progr.N°:	Rev.N°:
	E	R	110	10	1

CUP:

Rev. N°	Data	Descrizione
0	Luglio 2020	Prima emissione
1	Ottobre 2025	Modifiche cartiglio

Approvazioni

Il Progettista:



Ingegneri Consulenti

via Kufstein, 1 38121 Trento | via Correggio, 19 20146 Milano
tel. 0461 39.03.40 | tel. 02 48.51.88.62

timbro progettista:

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO
dott. ing. ROBERTO BOLLER
ISCRIZIONE ALBO N° 1216

Il responsabile unico del progetto:

Dott. Ing. BARBARA BRESCIANI

Il dirigente d'area:

Dott. Ing. ANTONIO COVINO

PROVINCIA DI MANTOVA

Attività:

PROGETTO ESECUTIVO INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL PONTE SULLA SP EX SS 420 SUL CANALE SABBIONCELLI IN COMUNE DI SABBIONETA PER IL RIPRISTINO DELLA CAPACITA' PORTANTE

Oggetto:

PROGETTO ESECUTIVO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO

Doc. n: ER 110 – 10 0

Responsabile del procedimento: ing. Barbara Bresciani

Timbro e firma

Dott.Ing Roberto Boller

Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
0	Ottobre '20			BLL	BLL	BLL	Per Commenti
	Giugno 2026			BLL	BLL	BLL	Varie

SOMMARIO

1	Premessa	4
2	Oggetto dei lavori	7
2.1	Gli interventi sull'impalcato	7
2.2	Le pile e spalle.....	11
3	Normativa di riferimento	12
4	Documentazione di riferimento.....	13
5	Descrizione dello stato di conservazione	14
6	Analisi storico-critica, rilievo delle strutture esistenti e caratterizzazione dei materiali ...	15
6.1	Caratterizzazione meccanica dei materiali	15
6.2	Livello di conoscenza assunto.....	15
7	Elaborati di riferimento.....	17
8	Caratteristiche dei materiali.....	18
8.1	Strutture in cemento armato	18
8.1.1	Malte, cls reoplastici e malte premiscelate.....	18
8.1.2	Acciaio per armatura lenta	21
9	Codici di calcolo.....	23
10	Metodi di calcolo e verifica dei rinforzi strutturali	24
10.1	Percentuale minima di armatura	24
10.2	Copriferro	24
10.3	Verifica di fessurazione	24
10.4	Caratteristiche dell'opera strutturale.....	25
10.4.1	Vita nominale	25
10.4.2	Classe d'uso	25
10.4.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	25
10.5	Combinazioni di carico	25
10.5.1	Combinazione statica SLU	26
10.5.2	Combinazione statica SLE.....	27
11	Analisi dei carichi	31
11.1	Peso proprio impalcato (g1) e carichi permanenti (g2) impalcato stato originario.	31
11.2	Azioni variabili da traffico.....	32
11.2.1	Carico da traffico all'atto del progetto originario	32

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

11.2.2	Definizione delle corsie convenzionali secondo NTC 2018	32
11.2.3	Definizione delle corsie convenzionali	32
11.3	Azione frenante	32
11.3.1	Azione longitudinale di frenamento o accelerazione (q3) secondo la configurazione delle NTC 2018	32
11.4	Azione centrifuga.....	33
11.5	Azione da vento.....	33
11.5.1	Azione del vento (q5) secondo la configurazione delle NTC 2018	33
11.5.2	Analisi	34
11.5.3	Ponte scarico	35
11.5.4	Ponte carico	36
11.6	Variazione termica (ϵ_3).....	36
12	Il calcolo delle sollecitazioni dell'impalcato e la definizione in accordo con le LinEe guida per la valutazione della sicurezza dei ponti esistente (Consiglio superiore dei Lavori Pubblici d.d. 17/04/2020).....	37
12.1	L'analisi dell'impalcato.....	38
12.2	L'analisi delle sottostrutture	49
13	verifica delle travi secondo le indicazioni di cui alle NTC 2018.....	50
13.1	Definizione del modello	50
13.2	Caratteristiche inerziali impalcato.....	50
13.3	Verifica delle travi nello stato attuale nella condizione in accordo con le NTC2018	51
13.3.1	La verifica di operatività	57
13.3.2	La verifica di transitabilità	65
13.3.3	Condizione 1 - Divieto di transito ai mezzi di peso eccezionale	71
13.4	Riepilogo delle verifiche allo stato attuale	72
13.5	La verifica delle travi nella configurazione di rinforzo soletta	73
14	La soletta	82
14.1	Calcolo delle sollecitazioni secondo il nuovo schema statico di soletta incastrata alle estremità	82
14.2	Verifica sezioni	85
15	I fusti delle pile	90
16	VERIFICHE GEOTECNICHE	94

1 PREMESSA

Il ponte in oggetto definisce lo scavalco del canale Sabbioncelli nel comune di Asabbioneta (MN), lungo la S.P. – ex S.S. n° 420.

Il ponte risulta caratterizzato da tre campate con tipologia in calcestruzzo armato a sezione variabile. Risulta disposto in sghembo con angolo tra asse impalcato e asse spalle/pile pari a 52° . Le travi sono del tipo a sezione variabile con altezza pari a $1,05 + 0,15 = 1,20$ m in asse appoggi spalle/pile e $0,75 + 0,15 = 0,90$ m in asse impalcato. I traversi di spalla sono di spessore 30 a tutt'altezza impalcato. I traversi intermedi, due per campata, sono di spessore 0,25 m e altezza 0,55 m. La soletta è di spessore 15 cm. L'interasse travi risulta pari a 1,40 m. Gli sbalzi esterni sono sagomati a Z per un aggetto da asse travi pari a 0,98 m, e spessore sempre pari a 0,15 m.

La sezione d'impalcato risulta ribassata rispetto al piano stradale di 30 cm di cui 10 cm adibiti a pavimentazione bituminosa e 20 cm di fondazione in misto granulare stabilizzato.

I bordi stradali sono protetti solo da due parapetti metallici e quindi la carreggiata si discosta dal bordo esterno di circa 1,00 m. In tal modo la carreggiata stradale risulta larga circa 6,70 m.

L'analisi storica ha permesso di recuperare i disegni di carpenteria del ponte e le armature dell'impalcato. Inoltre si sono recuperati gli elaborati di contabilità. Tutto ciò ha permesso di definire le caratteristiche dei materiali dei calcestruzzi e degli acciai dell'epoca. Il rilievo svolto è stato mirato alla verifica della corretta geometria definita dai disegni storici.



Figura 1.1 : Sezione longitudinale

SEZIONE IMPALCATO (ortogonale all'asse strada)

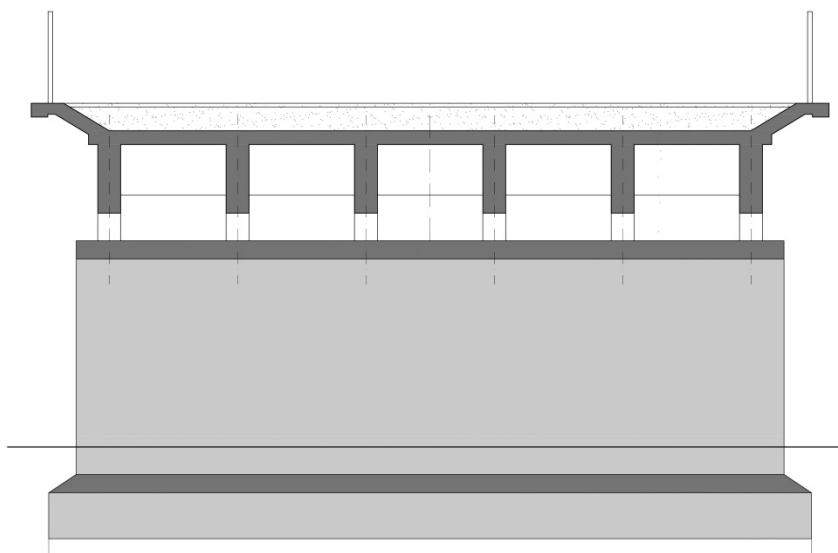


Figura 1.2 : Sezione trasversale

PIANTA TRAVI SCOPERTE

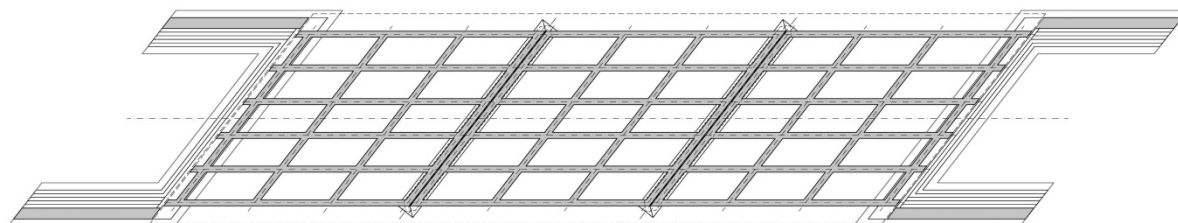


Figura 1.3 : Pianta a travi scoperte

Le caratteristiche principali del ponte sono le seguenti:

luce di calcolo impalcato	9,57 + 9,66 + 9,57 m
luce in asse pila	9,74 + 10,00 + 9,94 m
larghezza giunto di dilatazione	0,04 m
larghezza impalcato	8,70 m
spessore soletta	0,15 m
altezza massima trave	1,20 m
altezza minima trave	0,90 m
interasse travi	1,40 m

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

larghezza sbalzo	0,98 m
numero traversi in campata	2
interasse traversi travi impalcato	3,20 m
spessore traversi in campata	0,25 m
spessore traversi di appoggio	0,30 m
altezza pile	2,55 m
spessore pile	0,60 m
larghezza longitudinale fusti pile	9,80 m
spessore fondazione pile	0,50 m
larghezza trasversale fondazione pile	1,20 m
larghezza longitudinale fondazione pile	10,40 m
diametro pali di fondazione	0,25 m
lunghezza pali di fondazione pile	7,00 m
interasse trasversale pali pile	0,60 m
interasse longitudinale pali pile	0,60 m
larghezza massima spalla	1,20 m
larghezza minima spalla	0,75 m
altezza delle spalle	2,25 m
altezza fondazione spalle	0,50 m
spessore spalla (variabile a tratti: nr. 3)	0,75 – 0,90 – 1,20 m
spessore fondazione	1,65 m
lunghezza muri d'ala	5,22 m
spessore muri d'ala (variabile a tratti : 6 tratti)	0,30 – 0,60 – 0,75 – 0,90 – 1,05 – 1,20 m
diametro pali anteriori spalla	0,20 m
lunghezza pali di fondazione pile	5,00 m
interasse trasversale pali pile	0,80 m
interasse longitudinale pali pile	0,80 m

2 OGGETTO DEI LAVORI

I lavori oggetto della presente progettazione riguardano:

1. Manutenzione straordinaria dell'impalcato, con consolidamento della soletta in estradosso, ringrosso della stessa con 20 cm di calcestruzzo strutturale alleggerito e ripristino in intradosso travi e soletta per protezione delle armature esistenti e protezione dei calcestruzzi agli agenti chimici (vernice anticarbonatazione);
2. Ricostruzione dei cordoli di bordo ponte;
3. Rifacimento dell'impermeabilizzazione;
4. Rifacimento della pavimentazione bituminosa;
5. Rimozione dei parapetti esistenti e sostituzione con sicurvia;
6. Predisposizione degli scarichi delle acque meteoriche.

2.1 GLI INTERVENTI SULL'IMPALCATO

Gli interventi in estradosso soletta sono caratterizzati da:

1. - DEMOLIZIONI E RICOSTRUZIONI

1.1. Asportazione della pavimentazione stradale sull'impalcato.

1.2. Rimozione della massicciata stradale.

1.3. Idrodemolizione corticale del calcestruzzo superiore, fessurato o comunque degradato su tutta la superficie dell'estradosso della soletta e delle travi in intradosso ($s=3\text{cm}$). L'idrodemolizione dello strato corticale di calcestruzzo è da eseguire sulle porzioni superficiali indicate dal progetto e/o dal Direttore dei Lavori e per la profondità strettamente necessaria ad asportare, in ogni zona d'intervento, il calcestruzzo degradato. Le armature delle solette a sbalzo dovranno, in ogni fase dei lavori, continuare ad essere inglobate all'interno del conglomerato cementizio per assicurare la stabilità degli sbalzi stessi. Le fasi di demolizione dovranno essere eseguite con tutte le cautele necessarie a garantire l'integrità delle armature esistenti.

1.4. Sistemazione dei ferri di armatura della struttura esistente liberati dalla demolizione, e qualora si presentino sezioni di tali ferri il cui spessore abbia risentito di sensibili riduzioni dovute alla corrosione, integrazione degli stessi con armature metalliche aggiuntive. Le barre integrative saranno affiancate a quelle esistenti corrose e prolungate, da entrambi i lati del tratto corroso, per lunghezze atte a garantire l'ancoraggio sia delle barre esistenti che di quelle nuove. Se necessario saranno eseguiti, con l'idrolancia, solchi nella soletta per inserirvi le nuove barre.

1.5 Rimozione parapetto.

1.6. Posa armature metalliche 5 Ø 16/m per il rinforzo della soletta.

1.7. Ravvivatura, con getti ad alta pressione di sabbia silicea, delle superfici alle quali si aggrappano i nuovi getti. Tale intervento riguarderà anche, eventualmente, la sabbiatura dei nuovi connettori

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il
ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

(compresa l'asportazione della resina a base di uretano meta -acrilato eventualmente solidificatasi sulla superficie superiore del calcestruzzo), la sabbiatura di tutte le barre metalliche affioranti sulla superficie superiore della soletta. Tale lavorazione dovrà essere completata con un'accurata pulizia delle superfici di ripresa.

1.8. Applicazione di inibitori di corrosione, a base organica, sulle armature metalliche.

1.9. Saturazione con acqua, da protrarre per un periodo di almeno 12 ore, delle superfici di ripresa di getto del conglomerato cementizio esistente per l'applicazione sopra ad esse di conglomerato cementizio d'apporto.

1.10 Realizzazione di 20 cm di sovra soletta in calcestruzzo alleggerito LC30/33 peso specifico 1750 kg/mc

1.11. Tempestiva applicazione su tutte le superfici di getto di un film di vernice antievaporante in solvente organico.

1.12 Applicazione sulle travi in intradosso soletta di fibre di carbonio (monodirezionali) con intero ciclo di lavorazione (primer + stucco epossidico + resina epossidica + fibre di carbonio + resina epossidica + sabbia di quarzo)

1.13 Rasatura finale di protezione dell'intradosso travi con malta preconfezionata additivata con polimeri sp 3 mm circa e pittura elastomerica acrilica

2. - IMPERMEABILIZZAZIONE E PROTEZIONE DELLA SOLETTA E DEI CORDOLI

2.1. Posa primer bituminoso di adesione (350-500grfmq)

2.2. Dopo 24 ore dall'applicazione del primer, incollaggio a fiamma di membrana impermeabilizzante in bitume distillato polimero elastoplasomerica, con marcatura CE conforme UNI EN 14695, a base di bitume distillato, plastomeri ed elastomeri, armata con un tessuto non tessuto isotropo di fibra poliestere a filo continuo posizionato asimmetricamente rispetto allo spessore del foglio. L'armatura sarà ricoperta da 0.5mm circa di massa bituminosa nella parte superiore e 2-3mm nella parte a contatto con il piano di posa. teli stesi parallelamente all'impalcato, verranno completamente ed accuratamente incollati al piano di posa con fiamma, e saranno previsti sormonti di 10 cm saldati a fiamma.

2.3. Rivestimento elastoplastico in due mani (a spatola o a spruzzo) delle superfici esterne delle travi di bordo, dello sbalzo e del cordolo.

2.4. Ravvivatura dell'intera superficie ed applicazione di un film di vernice protettiva a base di resine metacriliche con un consumo minimo di 500 gr/m².

3. PAVIMENTAZIONE

3.1. Fornitura e stesa su tutte le superfici di estradosso della soletta di una mano di attacco di bitume elastomerico modificato nella quantità minima di kg 1.0 al m².

3.2. Fornitura, posa in opera e costipamento di conglomerato bituminoso, binder e tappetino drenante - antiskid sia sull'opera che nei tratti di raccordo ad essa adiacenti.

3.3. Posa nuovo sicurvita

The technical drawing illustrates the cross-section of a bridge deck. The total width at the top is 870 units. The deck thickness at the ends is 35 units. The main span length between supports is 800 units. The distance from the centerline to the edge of the deck is 85 units. The span is divided into five equal segments of 140 units each. The height of the deck above the support level is +21.00. The height of the support structure below the deck level is +19.50. The width of the support structure is 150 units. The width of the deck at the support level is 26 units. The width of the deck at the bottom is 75 units. The width of the deck at the top is 30 units. The width of the deck at the bottom is 30 units. The width of the deck at the top is 30 units. The width of the deck at the bottom is 30 units.

Figura 2.1 : Lo stato attuale

Technical drawing of a reinforced concrete slab cross-section. The drawing shows a slab with a total width of 915 mm and a total depth of 110 mm (40 mm top flange + 70 mm web). The slab is supported by four columns. The dimensions are as follows:

- Overall width: 915 mm
- Overall depth: 110 mm (40 mm top flange + 70 mm web)
- Top flange thickness: 40 mm
- Web thickness: 70 mm
- Column width: 325 mm
- Column spacing: 215 mm
- Reinforcement labels: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5
- Reinforcement diameter: $\phi 10$
- Reinforcement spacing: 150 mm
- Reinforcement cover: 30 mm
- Reinforcement lap length: 300 mm
- Reinforcement development length: 300 mm
- Reinforcement lap length: 300 mm
- Reinforcement development length: 300 mm
- Reinforcement lap length: 300 mm
- Reinforcement development length: 300 mm

Figura 2.2 : IIa fase di demolizione

Figura 2.3 : Interventi in estradosso soletta

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

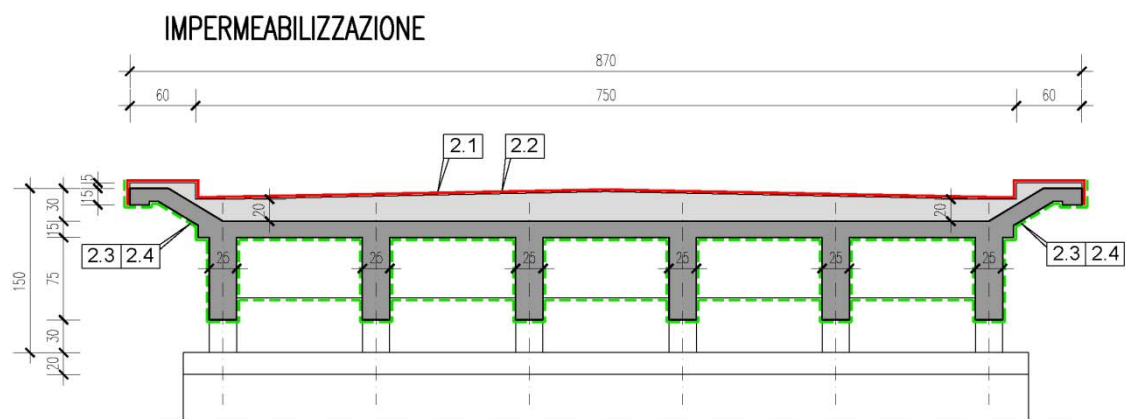


Figura 2.4 : Interventi in intradosso soletta

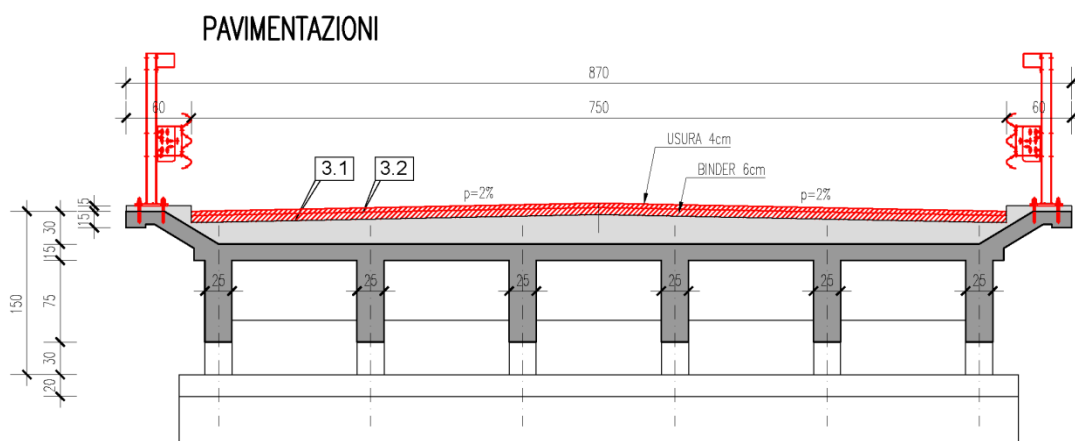


Figura 2.5 : Le opere di finitura

2.2 LE PILE E SPALLE

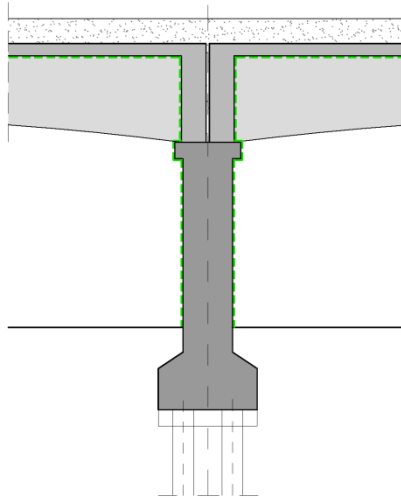


Figura 2.5 : Il consolidamento delle pile

Gli interventi sulle pile risultano definiti da:

- 1.4. Ravvivatura, con getti ad alta pressione di sabbia silicea, delle superfici alle quali si aggrappano i nuovi getti.
- 2.3. Rivestimento elastoplastico in due mani (a spatola o a spruzzo) delle superfici esterne delle travi di bordo, dello sbalzo e del cordolo.
- 2.4. Ravvivatura dell'intera superficie ed applicazione di un film di vernice protettiva a base di resine metacriliche con un consumo minimo di 500 gr/m².

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella progettazione si è fatto riferimento alla normativa sui lavori pubblici D.L. n.50 del 18 aprile 2016 – Codice degli Appalti e s.m.; DPR n.207/2010.

Per la parte tecnica si fa riferimento a:

Progettazione strutture in c.a. e c.a.p.:

Leggi e decreti

1. Legge n.1086 del 5.11.1971
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica. G.U. n.321 del 21.12.1971
2. Legge n.64 del 2.2.1974
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche. G.U. n.76 del 21.3.1974
3. Decreto Ministero delle Infrastrutture del 17.01.2018
Norme tecniche per le costruzioni. G.U. n.429 del 20.02.2018
4. Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti del 15.06.2017
Direttiva in materia di autorizzazioni alla circolazione dei veicoli eccezionali e dei trasporti in condizioni di eccezionalità

Circolari

5. Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 21.01.2019, n. 7
Istruzione per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.
6. *Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti* allegato al parere del Consiglio Superiore dei lavori Pubblici n. 88/2019, d.d. 17/04/2020.

Istruzioni Consiglio Nazionale delle Ricerche

7. CNR-DT 207/2008 del 17.01.2008
Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

Norme europee

8. UNI-EN 1991-2:2005 Eurocodice 1 (marzo 2005)
Azioni sulle strutture – Parte 2: carichi da traffico sui ponti.
9. UNI-EN 1994-2:2006 Eurocodice 4 (gennaio 2006)
Progettazione delle strutture in acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.
10. UNI-EN 1998-2 Eurocodice 8 (febbraio 2006)
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti.

4 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

La documentazione di riferimento consultata consiste nei seguenti elaborati:

- Tavole e relazioni di calcolo del progetto originale:

ID	Data	Titolo
Disegno 192	Non riportata	Bonifica Cremonese Mantovana - V lotto opere – 4° sub lotto - Ponte sulla provinciale Mantova – Modena
Manca il cartiglio	Non riportata	Armature pila – Ferri travi principali – Ferri soletta e basamento pile
Allegato 11	20/10/1935	Perizia di variante ai manufatti sul diversivo Sabbioncelli – Computo metrico e stima dei lavori– Ponte strada provinciale

La lettura degli elaborati evidenzia le caratteristiche dell'acciaio dove in contabilità lavori si parla di "ferro dolce omogeneo" attribuibile per le norme di allora ad un acciaio dolce.

Altro aspetto importante riguarda l'armatura contabilizzata (vedi allegato 11) per le travi principali dove si riferisce di ferri Ø 28 e non di Ø 30 come riportato negli elaborati.

Per quanto riguarda il calcestruzzo il riferimento delle sue caratteristiche si ha solo negli elaborati di computo di cui all'allegato 11m, riporta, per tutti i calcestruzzi, l'indicazione sul dosaggio di 3 q.li di cemento, 0,800 mc di ghiaia e 0,400 mc di sabbia. In tal senso si ritiene di attribuire il calcestruzzo ad un attualizzato equivalente C25/30.

Le verifiche che di seguito si riportano fanno perciò riferimento ad un acciaio dolce e a ferri Ø 28. Per quanto riguarda la disposizione si fa riferimento a quanto riportato sugli elaborati grafici.

L'indagine visiva ha evidenziato quanto di seguito:

- Le verifiche geometriche svolte a campione hanno appurato la correttezza degli elaborati grafici storici per cui si ritiene che in tal senso il livello di conoscenza sia totale;
- Il rilievo ha poi appurato lo stato di conservazione delle strutture che risultano caratterizzate da puntuali effetti di riduzione dei copriferri con in alcuni punti la visione di ferri in vista. Non si sono notati particolari e importanti fenomeni di corrosione.

Le prove sui materiali hanno interessato:

- I controlli sono stati rivolti ad una campagna di prove sclerometriche che hanno portato a classificare il calcestruzzo come equivalente ad un C25/30 in accordo con gli elementi desunti dai documenti contabili (in base al dosaggio individuato in detti elaborati). Non si è ritenuto necessario eseguire di altre indagini, quali carotaggi e prove di compressione, in quanto le risultanze dei calcoli portano a ritenere poco significativa la variazione della caratteristica di resistenza del calcestruzzo sulle verifiche strutturali degli elementi travi e traversi. Per la soletta la soluzione di ripristino è stata volta ad aumentarne lo spessore per cui anche in questo caso ulteriori indagini sarebbero risultate superflue. E' peraltro evidente che situazioni singolari potranno essere visionate solo all'atto delle lavorazioni e delle specifiche idrodemolizioni;
- Il controllo sugli acciai in vista ha potuto confermare, a vista, le caratteristiche degli acciai definiti nei documenti contabili. All'atto delle lavorazioni verrà comunque estratto un ferro da sottoporre a prova chimica e di trazione.

5 DESCRIZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE

A seguito dell'esame della lettura della documentazione storica (elaborati grafici e di contabilità) e delle verifiche in sito di raffronto, si ritiene di avere un grado di conoscenza tale da definire un fattore di confidenza $FC = 1,00$. Le caratteristiche degli acciai assunte nelle verifiche corrispondono all'acciaio Aq42 e un calcestruzzo di classe Rck 30.

Dal punto di vista contabili si sono comunque inserite in computo, previsioni di interventi in fibra di carbonio così da contenere, per gli aspetti economici, eventuali ammaloramenti e/o incipienti corrosioni che si manifestassero all'atto delle idrodemolizioni e che richiederebbero interventi di ripristino della capacità flessionale o tagliente. Tale situazione sarà contabilizzata poi solo laddove effettivamente necessaria.

6 ANALISI STORICO-CRITICA, RILIEVO DELLE STRUTTURE ESISTENTI E CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

In base alla documentazione recuperata, alle risultanze delle ispezioni eseguite in loco, è stato possibile definire:

- la geometria delle sezioni resistenti;
- la disposizione e la quantità delle armature delle sezioni principali;
- le proprietà meccaniche dei materiali costituenti l'opera.

6.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

In sede di verifica delle sezioni, si è deciso di procedere in analogia al progetto di una nuova opera e quindi di adottare per i materiali i valori delle caratteristiche meccaniche originariamente previsti nel progetto storico e successivamente confermati dalle indagini visive e prove condotte in sito. Da tutto ciò si conferma il carattere conservativo della scelta, in quanto le resistenze misurate risultano sempre superiori a quelle attese.

Dalla consultazione di tutta la documentazione disponibile si è pertanto rilevato che:

- Calcestruzzo C25/30

Resistenza caratteristica cubica a compressione $f_{ck,cub} \geq 30 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione $f_{ck,cil} \geq 25 \text{ N/mm}^2$

- Acciaio dolce

Normativa	R.D.L. n°2229/1939		
Tipologia	liscio		
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 230 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq (420-500 \text{ N/mm}^2)$

Allungamento a carico massimo $(A_{gt})_k \geq 20\%$

6.2 LIVELLO DI CONOSCENZA ASSUNTO

Con riferimento a quanto specificato nella tabella C8.5. IV della C.M. 21-01-2019, che identifica in maniera sintetica quale siano i dati necessari per definire ciascun livello di conoscenza, per il caso di specie, si ha:

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

- Geometria: nota in base a disegni originali completi ed esaustivi. È stato effettuato un rilievo visivo per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. Inoltre è stato effettuato un controllo statistico della geometria della struttura, delle parti non strutturali e delle densità dei materiali. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali oggetto di intervento, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, sono tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi statica della struttura.
- Dettagli costruttivi: noti dai disegni costruttivi originali completi. I dati raccolti sono tali da consentire verifiche locali di resistenza.
- Proprietà dei materiali: le informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi ed alle relazioni di contabilità. I dati raccolti sono tali da consentire complete ed esaustive verifiche di resistenza.

Alla luce di quanto sopra esposto si ritiene che il livello di conoscenza raggiunto è LC3, pertanto il fattore di confidenza utilizzato nelle analisi e misure di sicurezza è $FC=1,00$.

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

7 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta l'elenco degli elaborati grafici relativi agli interventi strutturali:

- ET 311 - 05 0 Disegno di assieme stato attuale
- ET 321 - 05 0 Stato di progetto – Assieme – Interventi di consolidamento, smaltimento acque e sicurvia
- ET 321 - 10 0 Stato di progetto – Armatura soletta e cordoli
- ET 321 - 15 0 Stato di progetto – Fasi di intervento su travi, soletta, pile e spalle

8 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riporta di seguito l'elenco con le caratteristiche principali dei materiali utilizzati per il dimensionamento e le verifiche dei vari elementi costituenti il ponte.

8.1 STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO

I materiali per le strutture in cemento armato sono in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018 – D.M. 17/01/2018), UNI EN 206:2006 e UNI 11104:2004 “Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale”.

8.1.1 Malte, cls reoplastici e malte premiscelate

A. - MALTA CEMENTIZIA PREDOSATA ADDITIVATA CON POLIMERI, RINFORZATA CON FIBRE IN POLIACRILONITRILE ED ADDITIVATA CON INIBITORI DI CORROSIONE A BASE ORGANICA. (PER RASATURE SUPERFICIALI)

A.1 - MALTA CON MODULO DI ELASTICITA' a 28 GIORNI (E28) COMPRESO TRA 22000 N/mm² E 28000. N/mm².

Spessore di applicazione in una sola mano: almeno 30 mm.

RESISTENZA A ROTTURA PER COMPRESSIONE:

24 ore : superiore o uguale a 20 N/mm²

3 giorni : superiore o uguale a 35 N/mm²

7 giorni : superiore o uguale a 48 N/mm²

28 giorni : superiore o uguale a 55 N/mm²

MODULO DI ELASTICITA':

28 giorni (E28) : uguale a 25000. + o - 3000. N/mm²

RESISTENZA A TRAZIONE PER FLESSIONE:

24 ore : superiore o uguale a 3.2 N/mm²

3 giorni : superiore o uguale a 5.5 N/mm²

7 giorni : superiore o uguale a 8.5 N/mm²

28 giorni : superiore o uguale a 11.0 N/mm²

ADESIONE AL SUPPORTO DETERMINATA PER TAGLIO:

7 giorni : valore medio superiore o uguale a 1.5 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 3.0 N/mm²

28 giorni : valore minimo superiore o uguale a 2.0 N/mm²

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

ADESIONE AL SUPPORTO DETERMINATA PER TRAZIONE DIRETTA:

24 ore : valore medio superiore o uguale a 1.5 N/mm²

3 giorni : valore medio superiore o uguale a 2.8 N/mm²

7 giorni : valore medio superiore o uguale a 4.2 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 5.5 N/mm²

RESISTENZA AI CICLI DI GELO E DISGELO IN PRESENZA DI SALE (NaCl 3%) SECONDO LA NORMA SIA 162/1 prova n° 29

Dopo 30 cicli perdita in peso per scagliatura specifica Δm_{30} mg/mm².

COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA:

Non differente più del 30% da quello del calcestruzzo di supporto.

A.2 - MALTA CON MODULO DI ELASTICITA' A 28 GIORNI (E28)

COMPRESO TRA 14000. N/mm² E 18000. N/mm².

Spessore di applicazione in una sola mano : almeno 15 mm.

RESISTENZA A ROTTURA PER PRECOMPRESSIONE:

24 ore : valore medio superiore o uguale a 10 N/mm²

3 giorni : valore medio superiore o uguale a 20 N/mm²

7 giorni : valore medio superiore o uguale a 27 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 38 N/mm²

MODULO DI ELASTICITA':

28 giorni (E28) : uguale a 16000. + o - 2000. N/mm²

RESISTENZA A TRAZIONE PER FLESSIONE:

24 ore : superiore o uguale a 2.0 N/mm²

3 giorni : superiore o uguale a 3.5 N/mm²

7 giorni : superiore o uguale a 5.5 N/mm²

28 giorni : superiore o uguale a 7.0 N/mm²

ADESIONE AL SUPPORTO DETERMINATA PER TRAZIONE DIRETTA:

7 giorni : valore medio superiore o uguale a 1.5 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 2.5 N/mm²

28 giorni : valore minimo superiore o uguale a 1.5 N/mm²

ADESIONE AL SUPPORTO DETERMINATA PER TAGLIO:

24 ore : valore medio superiore o uguale a 1.5 N/mm²

3 giorni : valore medio superiore o uguale a 2.8 N/mm²

7 giorni : valore medio superiore o uguale a 4.4 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 5.5 N/mm²

RESISTENZA AI CICLI DI GELO E DISGELO IN PRESENZA DI SALE (NaCl 3%) SECONDO LA NORMA SIA 162/1 prova n° 29

Dopo 30 cicli perdita in peso per scagliatura specifica media

COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA:

Non differente più del 30% da quello del calcestruzzo di supporto.

A.3 - MALTA CEMENTIZIA PREDOSATA ADDITIVA CON POLIMERI, RINFORZATA CON FIBRE IN POLIACRILONITRILE, PER APPLICAZIONE IN SPESSORI MILLIMETRICI ("rasatura max 20mm")

Spessore di applicazione in una sola mano: almeno 4mm

RESISTENZA A ROTTURA PER COMPRESSIONE

24 ore : superiore o uguale a 5. N/mm²

7 giorni : superiore o uguale a 15. N/mm²

28 giorni : superiore o uguale a 25. N/mm²

MODULO DI ELASTICITÀ

28 giorni (E₂₈) non superiore a 7500. N/mm² ±1500. N/mm²

RESISTENZA A TRAZIONE PER FLESSIONE

24 ore : superiore o uguale a 1.5 N/mm²

3 giorni : superiore o uguale a 3.5 N/mm²

7 giorni : superiore o uguale a 4.5 N/mm²

28 giorni : superiore o uguale a 6.0 N/mm²

ADESIONE AL SUPPORTO DETERMINATA PER TRAZIONE DIRETTA

7 giorni : valore medio superiore o uguale a 1.5 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 2.5 N/mm²

28 giorni : valore minimo superiore o uguale a 1.5 N/mm²

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

ADESIONE AL SUPPORTO DETERMINATA PER TAGLIO

24 ore : valore medio superiore o uguale a 1.5 N/mm²

7 giorni : valore medio superiore o uguale a 2.8 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 4.0 N/mm²

28 giorni : valore medio superiore o uguale a 4.5 N/mm²

Resistenza ai cicli di gelo e disgelo in presenza di sale (NaCl 3%) secondo la Norma SIA 162/1 prova n°29

Dopo 30 cicli perdita in peso per scagliatura specifica media $\Delta m_{30} \leq 0.6 \text{ mg/mm}^2$

COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA

Non differente più del 30% da quello del calcestruzzo di supporto.

B. - CALCESTRUZZO ALLEGGERITO

- | | |
|--|--|
| • Classe di resistenza: | LC30/33 |
| • Classe di massa volumica: | D1,7 |
| • Massa volumica solo calcestruzzo stagionato a secco: | 1750kg/mc |
| • Classe di esposizione:
ordinarie) | XC3 (condizioni |
| • Contenuto minimo di cemento: | 430kg/mc |
| • Rapporto A/C: | 0.40 |
| • Copriferro effettivo (ricoprimento)
anni) =40mm | $\geq 30\text{mm} + 10\text{mm}$ ($V_n=100$) |
| • Copriferro "nominale" di calcolo: | $40+10\text{mm} = 50\text{mm}$ |

8.1.2 Acciaio per armatura lenta

L'acciaio ha le seguenti caratteristiche generali:

Modulo elastico $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di Poisson $\nu = 0,3$

Coefficiente di espansione termica $\alpha = 1,20 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$

Peso specifico $\rho = 78,50 \text{ kN/m}^3$

Di seguito sono elencate le caratteristiche dell'acciaio per armatura lenta sono:

Barre

Tipo di acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Rapporto tensioni caratteristiche	$1,15 \leq (f_t/f_y)_k < 1,35$
Rapporto tensioni di snervamento	$(f_y/f_{y,nom})_k < 1,25$
Allungamento a carico massimo	$(A_{gt})_k \geq 7,5\%$

Reti elettrosaldate

Tipo di acciaio	B450A
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Rapporto tensioni caratteristiche	$(f_t/f_y)_k \geq 1,05$
Rapporto tensioni di snervamento	$(f_y/f_{y,nom})_k < 1,25$
Allungamento a carico massimo	$(A_{gt})_k \geq 2,5\%$

Le analisi sono state svolte ricorrendo ai seguenti codici di calcolo:

- MIDAS CIVIL 2018 ver. 2.2, MIDAS Information Technology Co. Ltd, SKn Technopark Tech-center, 190-1 Sangdaewon1-dong, Joongwon-gu, Seongnam, Gyeonggi-do, 462-721, Korea
- RC-SEC ver. 2012.8.0.386, GeoStru Software, via Lungomare – 89032 BIANCO (RC)

10 METODI DI CALCOLO E VERIFICA DEI RINFORZI STRUTTURALI

La schematizzazione di calcolo delle strutture, il calcolo dei parametri di sollecitazione e la valutazione delle tensioni e delle deformazioni, allo scopo di ottenere la garanzia di una sicurezza permanente e uniforme dell'opera, sono stati effettuati secondo i metodi della scienza delle costruzioni e della teoria dell'elasticità.

Si sono analizzate le combinazioni più sfavorevoli delle condizioni elementari di carico al fine di individuare i valori massimi e minimi delle sollecitazioni cercate.

Il calcolo è stato eseguito in conformità alla vigente normativa tecnica e più precisamente alle già citate "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 14/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018), ricorrendo al metodo degli Stati Limite.

10.1 PERCENTUALE MINIMA DI ARMATURA

Per la percentuale minima di armatura si considerano le prescrizioni delle NTC 2018 tenendo conto del tipo di sollecitazione agente sull'elemento.

10.2 COPRIFERRO

La determinazione del copriferro minimo si evince dalla tabella C4.1.IV della Circolare applicativa 617 delle NTC 2018. I valori del copriferro, per ogni tipologia di elemento costruttivo, sono riportati nelle tabelle dei materiali riportate sugli elaborati grafici di progetto.

10.3 VERIFICA DI FESSURAZIONE

In accordo con le NTC 2018 si considerano le aperture di fessure riportate in tabella 10.1 per gruppo di elemento strutturale.

Gruppi di elementi	Condizioni ambientali	Combinazione delle azioni	Armatura	
			Poco sensibile	
			Stato limite	w_d
Fondazioni	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq 0,4$ mm
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq 0,3$ mm
Elevazioni	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq 0,3$ mm
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq 0,2$ mm
Elevazioni	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq 0,3$ mm
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq 0,2$ mm

Tabella 10.1: Stato limite di fessurazione (NTC 2018 – tabella 4.1. IV)

10.4 CARATTERISTICHE DELL'OPERA STRUTTURALE

Si riportano di seguito le caratteristiche dell'opera strutturale secondo quanto esposto nelle "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17/01/2018 (NTC 2018).

10.4.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

TIPI DI COSTRUZIONE	V_N (anni)
1 - Opere provvisorie	≤ 10
2 - Opere ordinarie	≥ 50
3 - Grandi opere	≥ 100

Tabella 10.2: Tipo e vita nominale V_N dell'opera (NTC 2008 – tabella 2.4.I)

Nel caso in studio è possibile fare riferimento al tipo 2 – Opere ordinarie - con vita nominale pari a:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

10.4.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso la classe d'uso dell'opera in oggetto è pari a III (si veda § 2.4.2 NTC 2018).

10.4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in tabella 10.3.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 10.3: Valori del coefficiente d'uso C_U dell'opera (NTC 2008 – tabella 2.4.II)

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

$$V_R = V_N C_U = 150 \text{ anni}$$

10.5 COMBINAZIONI DI CARICO

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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

10.5.1 Combinazione statica SLU

La combinazione per le verifiche statiche allo stato limite ultimo è:

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} \gamma_{gi} \cdot G_{ki} + \gamma_{q1} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{ng} \gamma_{qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

- G_{ki} è il valore caratteristico delle azioni permanenti
- Q_{1k} è il valore caratteristico di una delle azioni variabili
- Q_{ik} è il valore caratteristico delle altre azioni variabili
- γ_g coefficiente parziale per la i-esima azione permanente
- γ_q coefficiente parziale per la i-esima azione variabile
- ψ_{0i} coefficiente di combinazione

Si riportano di seguito, in tabella 10.4, i valori dei coefficienti di combinazione per le azioni agenti sull'opera in esame.

AZIONI	GRUPPO DI AZIONI	ψ_{0i}	ψ_{1i}	ψ_{2i}
Azioni da traffico	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schemi 1 e 5 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
Vento q_5	Ponte scarico	0,60	0,20	0,00
	Ponte carico	0,60	-	-
Temperatura	T_k	0,60	0,60	0,50

Tabella 10.4: Valore dei coefficienti di combinazione (NTC 2008 – tabella 5.1. VI)

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO), come previsto dalle NTC 2018, si adotta come criterio progettuale l'Approccio 2.

In questo principio si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali, definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 di tabella 10.5.

		Coefficiente γ_F	EQU ⁽¹⁾)	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{g1}	0,90	1,0	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{g2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili	favorevoli	γ_{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 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾)	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
(1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO. (2) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti non portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti. (3) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna. (4) 1,20 per effetti locali.					

Tabella 10.5: Valore dei coefficienti parziali di sicurezza (NTC 2008 – tabella 5.1. V)

10.5.2 Combinazione statica SLE

La combinazione per le verifiche statiche allo stato limite di esercizio sono:

Combinazione rara

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione frequente

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \psi_{1i} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Combinazione quasi permanente

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

- G_{ki} è il valore caratteristico delle azioni permanenti
- Q_{1k} è il valore caratteristico di una delle azioni variabili
- Q_{ik} è il valore caratteristico delle altre azioni variabili
- ψ_{0i} coefficiente di combinazione per azioni rare
- ψ_{1i} coefficiente di combinazione per azioni frequenti
- ψ_{2i} coefficiente di combinazione per azioni quasi permanenti

Si riportano di seguito, in tabella 10.6, i valori dei coefficienti di combinazione per le azioni agenti sull'opera in esame.

AZIONI	GRUPPO DI AZIONI	ψ_{0i}	ψ_{1i}	ψ_{2i}
Azioni da traffico	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schemi 1 e 5 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
Vento q_5	Ponte scarico	0,60	0,20	0,00
	Ponte carico	0,60	-	-
Temperatura	T_k	0,60	0,60	0,50

Tabella 10.6: Valore dei coefficienti di combinazione (NTC 2008 – tabella 5.1. V2)

In tabella 10.7 sono riassunte le combinazioni di carico utilizzate nell'analisi del ponte, in particolare sono riportati i coefficienti moltiplicativi finali ottenuti dal prodotto tra i coefficienti parziali di sicurezza e quelli di combinazione.

Tabella

COMBINAZIONE		STATO LIMITE	Peso proprio	Pernamenti	Spinta terre, acqua	Distorsioni	Ritiro	Temperatura	Cedimenti	Sovr. Tandem				Sovr. distribuito				Folla marciapiedi	Frenata	Centrifuga	Vento	Neve	Sisma	Resistenze vincoli	Urti svio	Altre azioni									
										g ₁	g ₂	g ₃	ε ₁	ε ₂	ε ₃	ε ₄	Q _{ik}										q _{ik}	q _{ir}	q ₃	q ₄	q ₅	q ₆	q ₇	q ₈	q ₉
NOTA																																			
PONTE SCARICO	PONTE SCARICO (vento + Δt) SLU	U01	A1 - STR	1,35	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE SCARICO (Δt + vento) SLU	U02	A1 - STR	1,35	1,35	1,35	1,00	1,20	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE SCARICO (vento + Δt) SLE rara	F01	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE SCARICO (Δt + vento) SLE rara	F02	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE SCARICO (vento + Δt) SLE frequente	F03	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE SCARICO (Δt) SLE frequente	F04	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE SCARICO (Δt) SLE quasi permanente	F05	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE SCARICO (Δt) SISMA	S01	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
PONTE CARICO	PONTE CARICO (gruppo 1 + vento + Δt) SLU	U03	A1 - STR	1,35	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	1,35	1,35	0,68	0,00	0,00	0,90	0,00	0,90	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE CARICO (vento + gruppo 1 + Δt) SLU	U04	A1 - STR	1,35	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	1,01	0,54	0,68	0,00	0,00	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE CARICO (gruppo 2a + vento + Δt) SLU	U05	A1 - STR	1,35	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	1,01	0,54	0,00	1,35	0,00	0,90	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE CARICO (gruppo 1 + vento + Δt) SLE rara	F06	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,60	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE CARICO (gruppo 1 + vento + Δt) SLE frequente	F07	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,75	0,40	0,50	0,00	0,00	0,20	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										
	PONTE CARICO (gruppo 1 + Δt) SISMA	S02	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00										

Combinazioni di carico utilizzate

10.7:

11 ANALISI DEI CARICHI

11.1 PESO PROPRIO IMPALCATO (G1) E CARICHI PERMANENTI (G2) IMPALCATO STATO ORIGINARIO

Di seguito su riportano i valori dei pesi propri dei marciapiedi/cordoli, dei sicurvia/parapetti e della pavimentazione come applicati al modello di calcolo.

FASE I (peso proprio originario):

- | | |
|--|-------------|
| - peso carpenteria travi sezioni minima (mezzeria): 25 x 0,25 x 0,90 | 5,6250 kN/m |
| - peso carpenteria travi sezioni massima (appoggi): 25 x 0,25 x 1,15 | 7,1875 kN/m |
| - peso traversi di appoggio: 25 x 0,30 x 1,05 | 7,8750 kN/m |
| - peso traversi interni: 25 x 0,25 x 0,55 | 3,4375 kN/m |
| - peso soletta tra le travi: 0,15 x 1,13 x 25 | 4,3125 kN/m |

FASE II (carichi permanenti portati originari):

- | | | |
|---|-------------|------------------------|
| - pavimentazione bituminosa (sp 10 cm): | 0,10 x 22,0 | 2,20 kN/m ² |
| - massicciata (sp 20 cm assunto un peso specifico di cls): 0,20 x 25 | | 5,00 kN/m ² |
| - parapetto (assunto come valore di sicurvia) | | 0,70 kN/m |

Nella configurazione di progetto i pesi propri e carichi permanenti risultano pari a:

FASE I:

- | | |
|--|------------------------|
| - peso carpenteria travi sezioni minima (mezzeria): 25 x 0,25 x 0,90 | 5,6250 kN/m |
| - peso carpenteria travi sezioni massima (appoggi): 25 x 0,25 x 1,15 | 7,1875 kN/m |
| - peso traversi di appoggio: 25 x 0,30 x 1,05 | 7,8750 kN/m |
| - peso traversi interni: 25 x 0,25 x 0,55 | 3,4375 kN/m |
| - peso soletta tra le travi: 0,15 x 1,13 x 25 | 4,3125 kN/m |
| - soletta di rinforzo strutturale (sp 20 cm): 0,20 x 250 | 5,00 kN/m ² |

FASE II (nuovi sovraccarichi permanenti):

- | | |
|---|-------------------------|
| - pavimentazione bituminosa (spessore medio 0,14 cm): 0,14 x 22 | 3,08 kN/ m ² |
| - sicurvia destro | 0,70 kN/m |
| - sicurvia sinistro | 0,70 kN/m |

11.2 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO

Di seguito si riportano le sollecitazioni considerando le condizioni le azioni da traffico per ponte di 1ª categoria.

11.2.1 Carico da traffico all'atto del progetto originario

Nel periodo precedente alla "NORME RELATIVE AI CARICHI PER IL CALCOLO DEI PONTI STRADALI" MIN. LL.PP. – CONSIGLIO SUPERIORE – 14 FEBBR. 1962, N. 384 non esisteva una specifica norma che definiva il carico stradale. Esistevano solo riferimenti di regolamenti comunali.

La ricerca storica non ha individuato riferimenti di calcolo e non è neppure stato possibile reperire riferimenti di Regolamento comunali e/o stradali in genere.

11.2.2 Definizione delle corsie convenzionali secondo NTC 2018

L'impalcato ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- Numero delle corsie 2
- Larghezza corsia 3,00 m
- Larghezza zona rimanente destra 0,50 m

11.2.3 Definizione delle corsie convenzionali

- 1ª colonna di carico

Q_{ik} = mezzo convenzionale da 600 kN a due assi (4 carichi concentrati da 150 kN)

q_{ik} = carico ripartito da 9,00 kN/m² disposto lungo l'asse di una corsia d'ingombro da 3,00m

- 2ª colonna di carico

Q_{ik} = mezzo convenzionale da 400 kN a due assi (4 carichi concentrati da 100 kN)

q_{ik} = carico ripartito da 2,50 kN/m² disposto lungo l'asse di una corsia d'ingombro da 3,00m

- parte rimanente

q_{ik} = carico ripartito da 2,50 kN/m² disposto lungo l'asse di una corsia d'ingombro da 0,50 m

11.3 AZIONE FRENANTE

11.3.1 Azione longitudinale di frenamento o accelerazione (q_3) secondo la configurazione delle NTC 2018

Per i ponti di 1ª categoria la forza di frenamento o di accelerazione q_3 è funzione del carico totale agente sulla corsia convenzionale n°1 è pari a:

$$q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$

Il limite inferiore regolamentare per l'intensità delle forze di frenata è 180,0 kN, mentre quella superiore è di 900,0 kN.

Nel caso in esame si hanno i seguenti parametri:

- $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$
- $q_{1k} = 9,00 \text{ kN/m}^2$
- $w_1 = 3,00 \text{ m}$
- $L = 10,00 \text{ m}$

Quindi il valore dell'azione è pari a:

$$q_3 = 0,6 \times (2 \times 300) + 0,10 \times 9,00 \times 3,00 \times 10,00 = 387,00 \text{ kN}$$

11.4 AZIONE CENTRIFUGA

Non si hanno effetti di forza centrifuga

11.5 AZIONE DA VENTO

11.5.1 Azione del vento (q_5) secondo la configurazione delle NTC 2018

Per il calcolo delle azioni del vento, le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 2018) prendono in esame situazioni progettuali in cui possono nascere particolari fenomeni di interazione vento-struttura. Tra questi vengono segnalati gli effetti torsionali sugli impalcati da ponte, per i quali si rimanda ad analisi specifiche e metodologie di comprovata validità. Si è quindi deciso di considerare l'azione del vento così come viene valutata con le nuove "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni" (CNR-DT 207/2008).

Il calcolo prevede l'individuazione di una pressione cinetica di picco del vento q_p funzione della Zona di riferimento, categoria di esposizione, classe di rugosità e tempo di ritorno dell'evento.

Questa pressione permette, quindi, la determinazione delle azioni aerodinamiche di picco esercitate dal vento, che possono essere espresse mediante una coppia di forze ortogonali f_x e f_y e un momento torcente m_z , per unità di lunghezza, applicati lungo l'asse Z di riferimento dell'impalcato. Essi sono forniti dalle relazioni:

$$f_x(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fx}$$

$$f_y(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fy}$$

$$m_z(z) = q_p(z) \cdot l^2 \cdot c_{mz}$$

dove:

c_{fx}, c_{fy}, c_{mz} coefficienti aerodinamici di forza e momento

l è la dimensione di riferimento associata ai coefficienti

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

I coefficienti aerodinamici per un impalcato isolato sono riportati in Tabella 10.1 in funzione del rapporto geometrico d/h_{tot} (vedi figura 10.1)

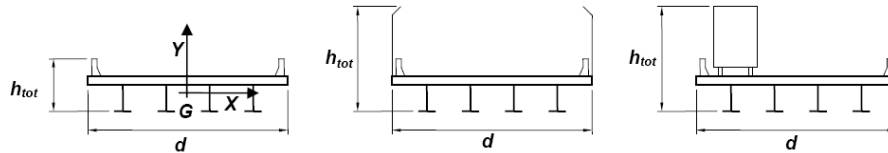


Figura 10.1 : Schema azioni vento ponte

Coefficiente aerodinamico	Indicazioni	Dimensione di riferimento
$c_{ix} = \begin{cases} 2,0 & 0,1 \leq d/h_{tot} < 0,2 \\ 1,65 \cdot \log_{10}(d/h_{tot}) + 3,15 & 0,2 \leq d/h_{tot} < 0,7 \\ -1,64 \cdot \log_{10}(d/h_{tot}) + 2,15 & 0,7 \leq d/h_{tot} < 2 \\ \frac{1,85}{d/h_{tot}} - 0,10 & 2 \leq d/h_{tot} \leq 5 \\ \frac{1,35}{d/h_{tot}} & d/h_{tot} > 5 \end{cases}$	Struttura snella (CNR-DT207 - § G.10.3) (CNR-DT207 - § G.11.1)	$l = h_{tot}$ $l = d$
$c_{fy} = \begin{cases} \pm \left(0,7 + 0,1 \cdot \frac{d}{h_{tot}} \right) & 0 \leq d/h_{tot} \leq 5 \\ \pm 1,2 & d/h_{tot} > 5 \end{cases}$	(CNR-DT207 - § G.11.1)	$l = d$
$c_{mz} = \pm 0,2$	(CNR-DT207 - § G.11.1)	$l = d$

Tabella 10.1: Coefficienti aerodinamici CNR-DT 207

11.5.2 Analisi

I parametri del sito dove sorge l'opera sono:

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ (m/s ²)	a_0 (m)	k_a
1	Lombardia	25	1000	0,40
Classe di rugosità	Esposizione sito	k_r	z_0 (m)	z_{min} (m)
D	II	0,19	0,05	4

Altezza sito $a_s = 20,00$ m s.l.m.

Coefficiente di altitudine $c_a = 1,00$

Velocità di riferimento $v_b = v_{b,0} \cdot c_a = 25,0 \times 1,00 = 25,0$ m/s

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Vita nominale della costruzione	$V_N = 100$ anni
Periodo di ritorno opera	$T_{R,0}^* = 100$ anni – opera di rilevante importanza
Periodo di ritorno azione del vento	$T_{R,0} = \max\{T_{R,0}^*, V_N\} = \max\{100, 100\} = 100$ anni
Coefficiente di ritorno	$c_r = 0,65 \cdot \left\{ 1 - 0,138 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right] \right\} = 1,06$
Velocità di riferimento di progetto	$v_r = v_b \cdot c_r = 25,0 \times 1,06 = 26,57$ m/s
<i>Dati geometrici:</i>	
Altezza trave	$h_{trave} = 1,05$ m
Spessore soletta	$s_{soletta} = 0,15$ m
Spessore marciapiede	$s_{mar.} = 0,30$ m
Spessore pavimentazione	$s_{pav.} = 0,10$ m
Altezza carico stradale	$h_{carico} = 3,00$ m
Altezza suolo-centro impalcato	$z = 2,00$ m
Larghezza impalcato	$d = 8,70$ m

11.5.3 Ponte scarico

Nel caso di ponte scarico si ottengono i seguenti valori:

Altezza investita	$h_{tot} = h_{trave} + h_{soletta} + h_{mar.} + h_{barriera} = 3,75$ m
Quota di riferimento	$z_r = z + \frac{h_{tot}}{2} = 3,75$ m
Rapporto geometrico	$d/h_{tot} = 5,80$ m
Coefficiente di esposizione	$c_e = k_r^2 \cdot \ln \left(\frac{z_r}{z_0} \right) \cdot c_t \cdot \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_0} \right) \cdot c_t + 7 \right] = 1,80$
Pressione di picco	$q_p = \frac{1}{2} v_r^2 c_e = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 26,57^2 \times 1,80 = 0,79$ kN/m ²

Azione finale	Valore	unità
Forza trasversale – F_x	1,61	kN/m
Forza longitudinale – F_y	± 8,29	kN/m
Momento torcente – M_z	± 12,02	kNm/m

Tabella 10.2: Azioni aerodinamiche ponte scarico secondo CNR-DT 207

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

11.5.4 Ponte carico

Nel caso di ponte carico si ottengono i seguenti valori:

Altezza investita $h_{tot} = h_{trave} + h_{soletta} + h_{mar.} + h_{barriera} = 4,30 \text{ m}$

Quota di riferimento $z_r = z + \frac{h_{tot}}{2} = 5,15 \text{ m}$

Rapporto geometrico $d/h_{tot} = 2,02 \text{ m}$

Coefficiente di esposizione $c_e = k_r^2 \cdot \ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) \cdot c_t \cdot \left[\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) \cdot c_t + 7 \right] = 1,95$

Pressione di picco $q_p = \frac{1}{2} v_r^2 c_e = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 26,57^2 \times 1,95 = 0,86 \text{ kN/m}^2$

Azione finale	Valore	unità
Forza trasversale – F_x	6,08	kN/m
Forza longitudinale – F_y	$\pm 6,74$	kN/m
Momento torcente – M_z	$\pm 13,00$	kNm/m

Tabella 10.3: Azioni aerodinamiche ponte carico secondo CNR-DT 207

11.6 VARIAZIONE TERMICA ($\varepsilon 3$)

In base al D.M. 14 gennaio 2018 “Norme tecniche per le costruzioni” si tiene conto della variazione termica considerando un $\Delta T = \pm 25^\circ\text{C}$ uniforme.

La variazione di lunghezza dell’impalcato vale:

$$\Delta l_{\text{impalcato}} = \alpha \Delta T L = 1,00 \times 10^{-5} \times 25 \times 10000 = 2,50 \text{ mm}$$

La variazione termica risulta definita da metà lunghezza impalcato per cui si ha:

$$\Delta l = \Delta l_{\text{impalcato}}/2 = 2,500/2 = 1,250 \text{ mm}$$

Per il calcolo delle escursione totale del giunto si incrementa la variazione di temperatura del 50%.

$$\Delta l_{\text{giunto, tot}} = 1,5 \Delta l = 1,5 \times 1,250 = 3,75 \text{ mm}$$

Il giunto tra impalcato e stampella risulta essere pari a $\Delta l_{\text{giunto}} = \pm 50,00 \text{ mm}$

12 IL CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DELL'IMPALCATO E LA DEFINIZIONE IN ACCORDO CON LE LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEI PONTI ESISTENTE (CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI D.D. 17/04/2020)

La documentazione storica recuperata ha permesso di sviluppare le verifiche strutturali in accordo con le indicazioni delle "Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti" allegato al parere del Consiglio Superiore dei lavori Pubblici n. 88/2019, d.d. 17/04/2020.

Si è sviluppato il modello globale dell'impalcato, comprensivo di pile e spalle, a meno delle sole palificate.

Le verifiche tensionali svolte, sempre come ora per allora, fanno riferimento alle indicazioni di cui alla Circolare del Ministero LL.PP., Consiglio Superiore, n. 2229 del 16 novembre 1939. – *"Norme per la esecuzione delle strutture in conglomerato cementizio semplice od armato"*.

Ciò ha permesso, in accordo con gli elaborati di contabilità, di accertare la corrispondenza degli acciai d'armatura alla classe Aq42 (acciaio dolce omogeneo) e per i calcestruzzi caratteristiche equivalenti ad un calcestruzzo C25/30 (dosaggio 300 kg/mc). Nelle verifiche si è poi declassato quello delle pile e spalle ad un equivalente C20/25.

Si è poi svolta un'analisi dettagliata agli elementi finiti, utilizzando il codice Midas Civil, e considerando i sovraccarichi da traffico della attuali NTC2018. Quindi si sono combinati i sovraccarichi secondo le indicazioni di cui alle citate "Linee Guida per la valutazione della sicurezza dei ponti esistenti" predisposte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per le condizioni di operatività e di transitabilità.

12.1 L'ANALISI DELL'IMPALCATO

Di seguito si riportano le immagini del calcolo dell'analisi FEM dell'impalcato in forma singola e le relative deformazioni per le singole condizioni agenti e le sollecitazioni massime agli Stati Limiti Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio.

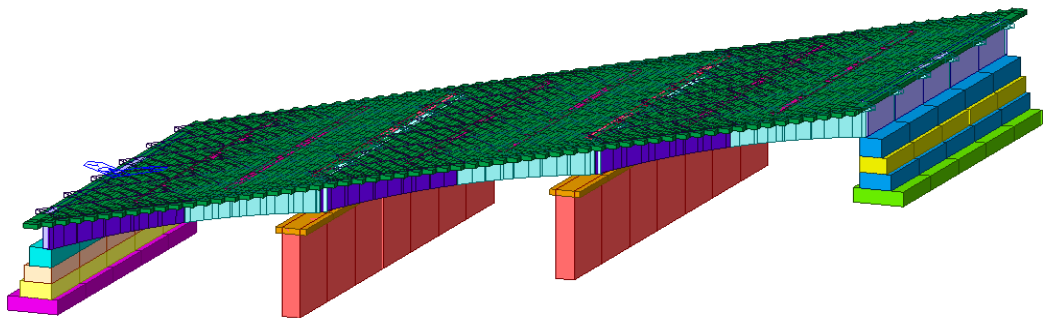


Figure 12.1: La mesh dell'impalcato vista dall'alto

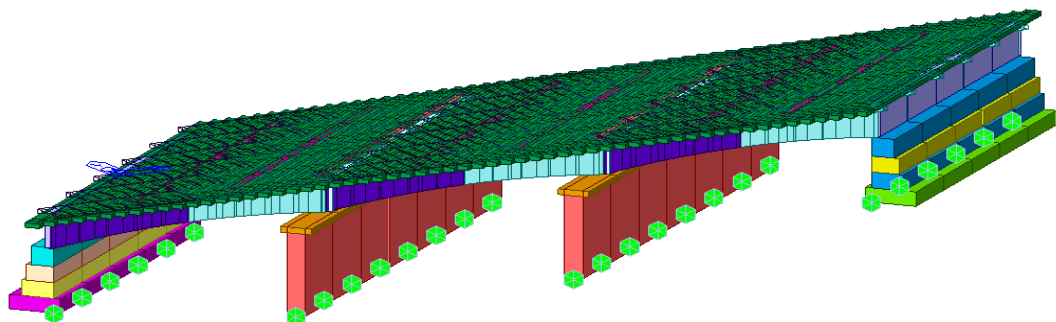


Figure 12.2: I vincoli

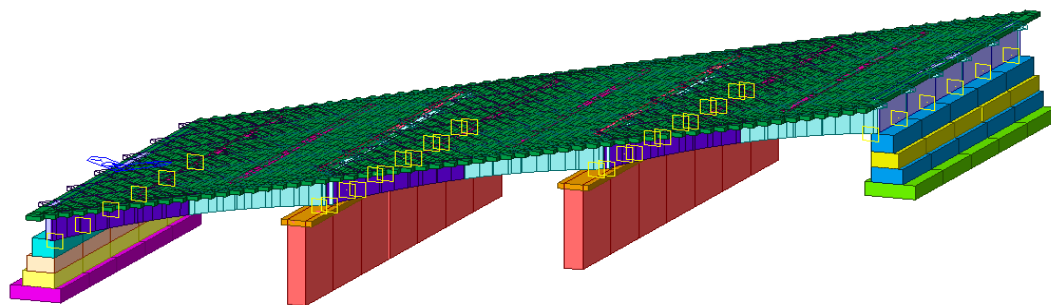


Figure 12.3: Gli appoggi

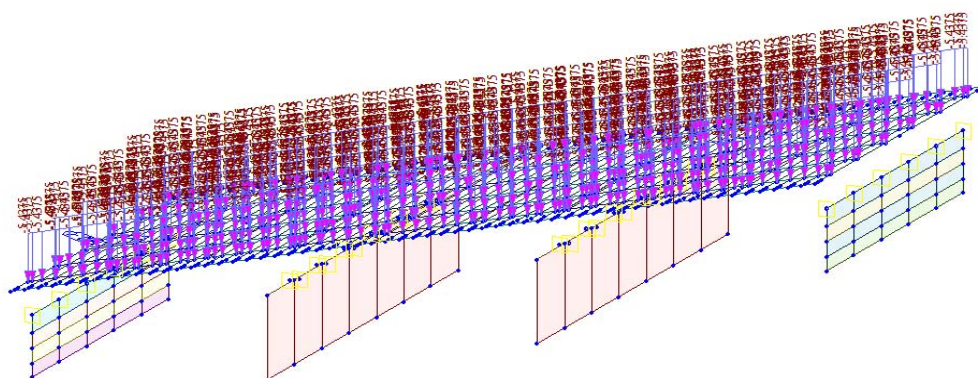


Figure 12.4: Il peso della soletta

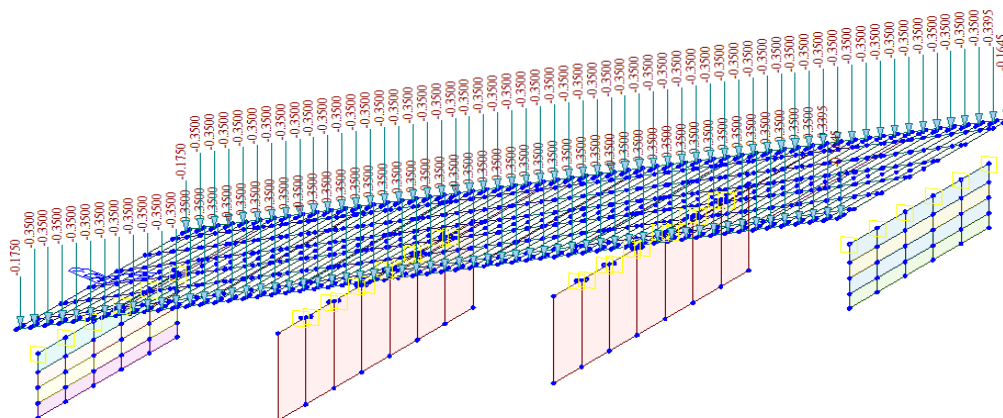


Figure 12.5: Il peso dei parapetti

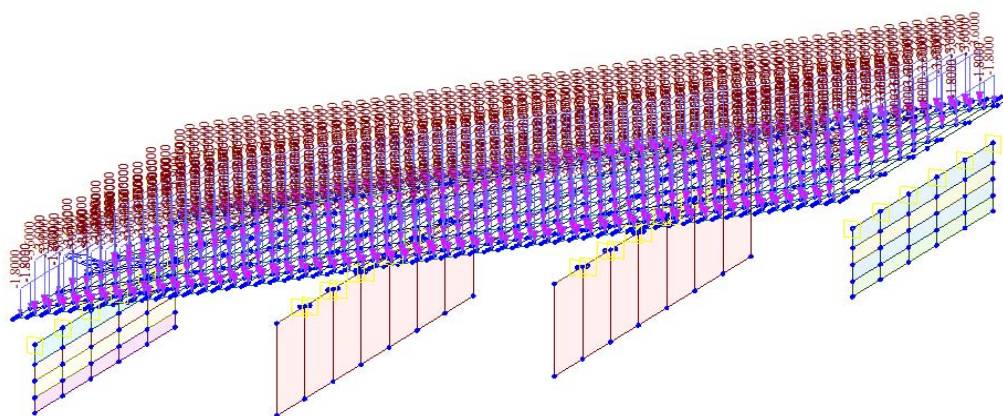


Figure 12.6: Il peso della massicciata e della pavimentazione stradale

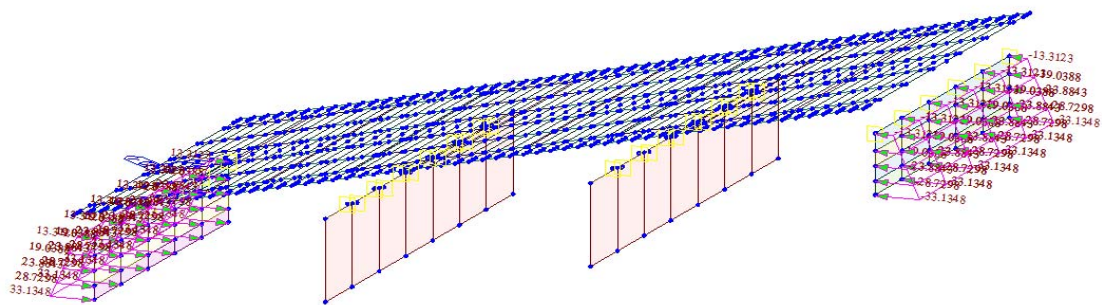


Figure 12.7: la spinta delle terre sulle spalle

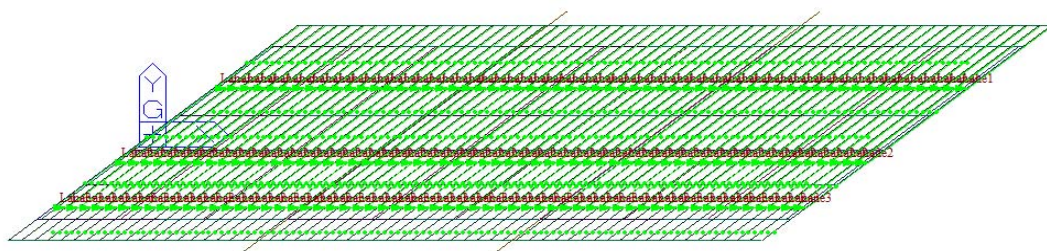


Figure 12.8: Le linee dei carichi mobili

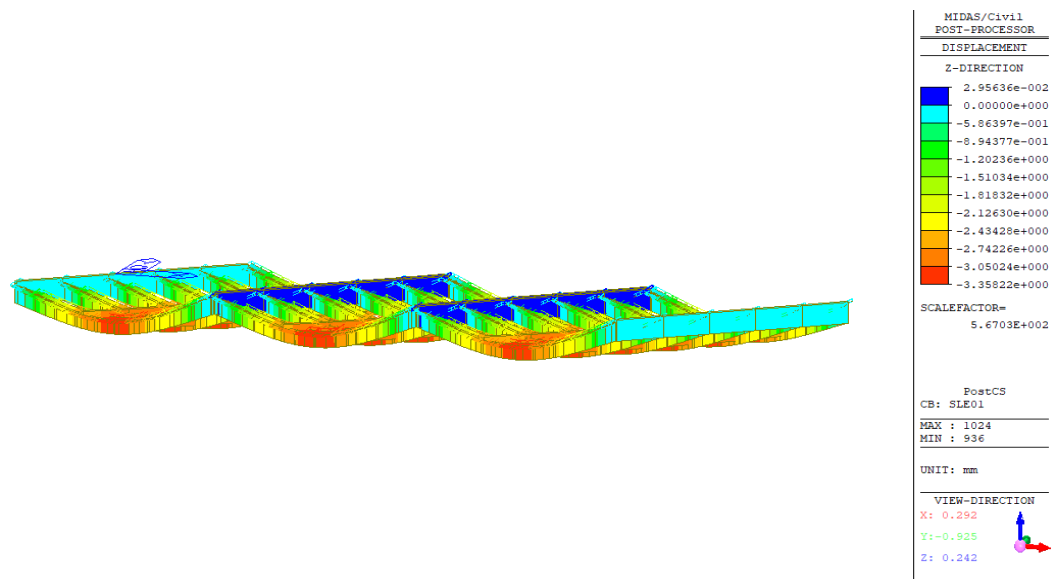


Figure 12.9: La deformata in combinazione quasi permanente

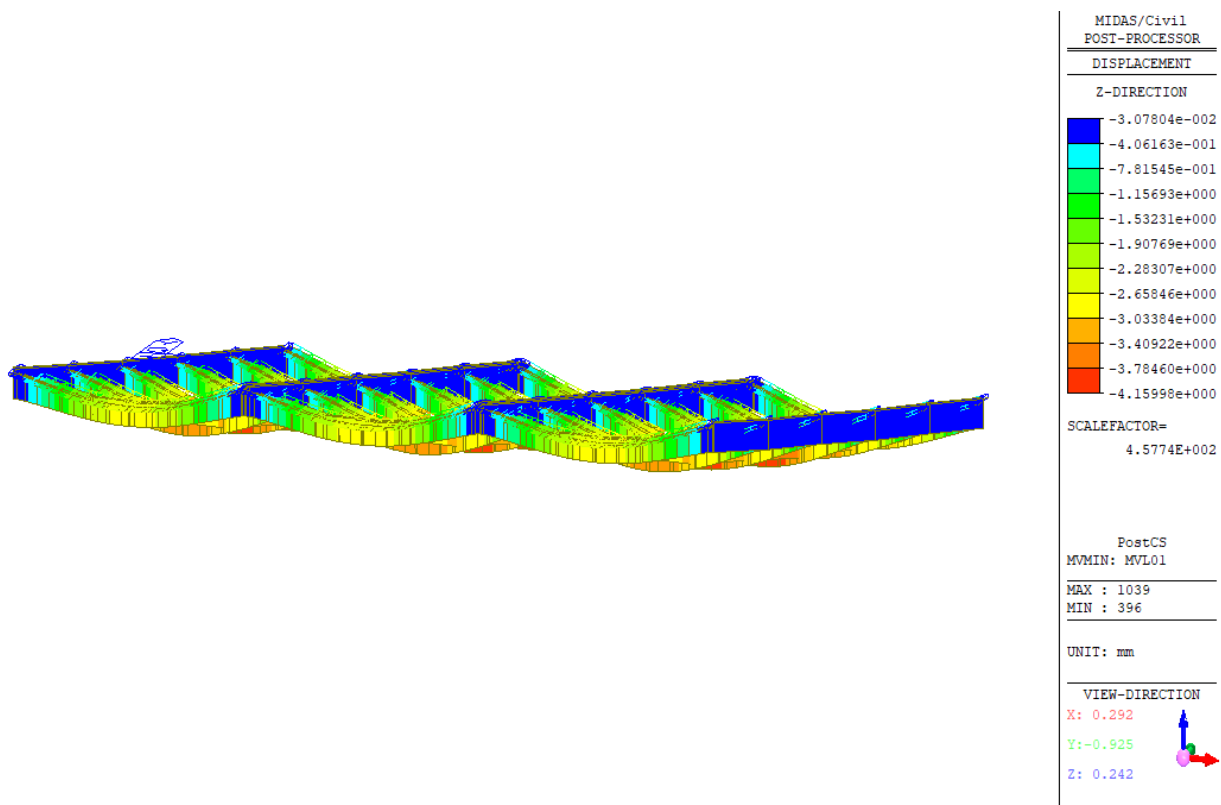


Figure 12.10: La deformata per i carichi mobili

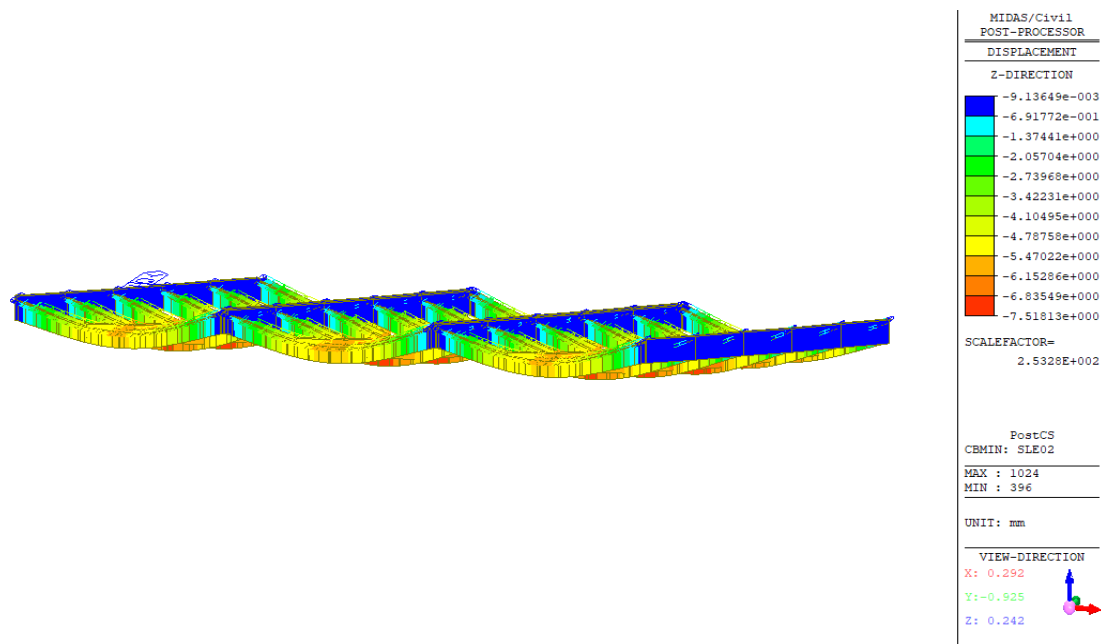


Figure 12.11: La deformata in combinazione rara

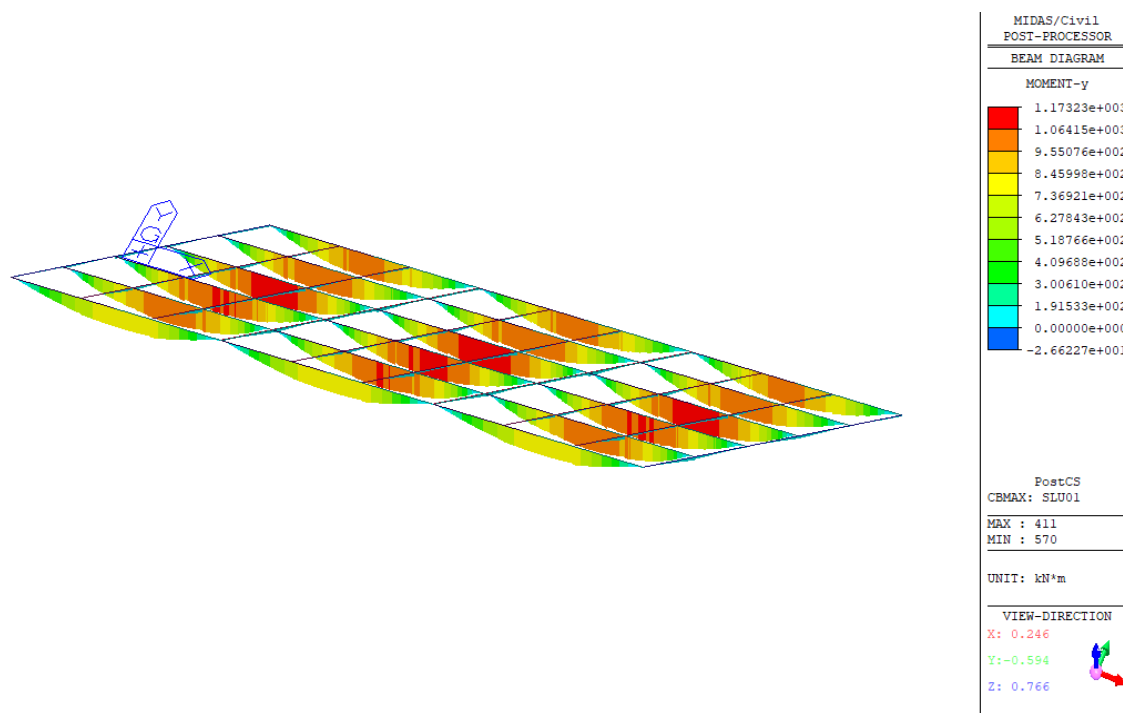


Figure 12.12: Il momento flettente massimo SLU01 in combinazione NTC2018

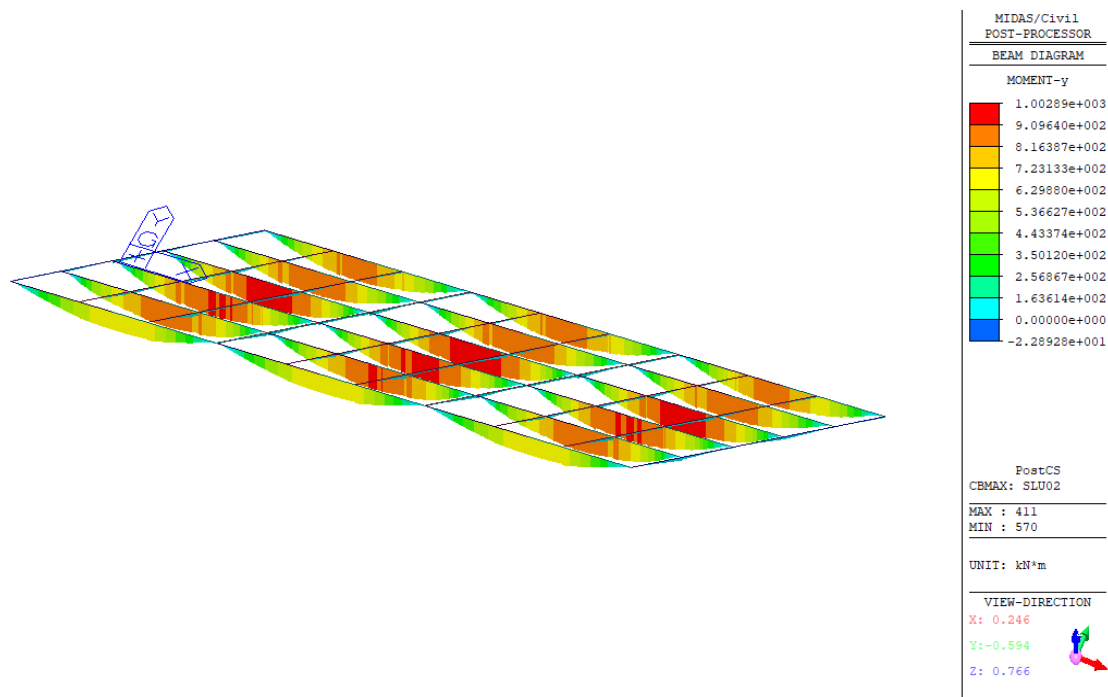


Figure 12.13: Il momento flettente massimo SLU02 in combinazione di operatività

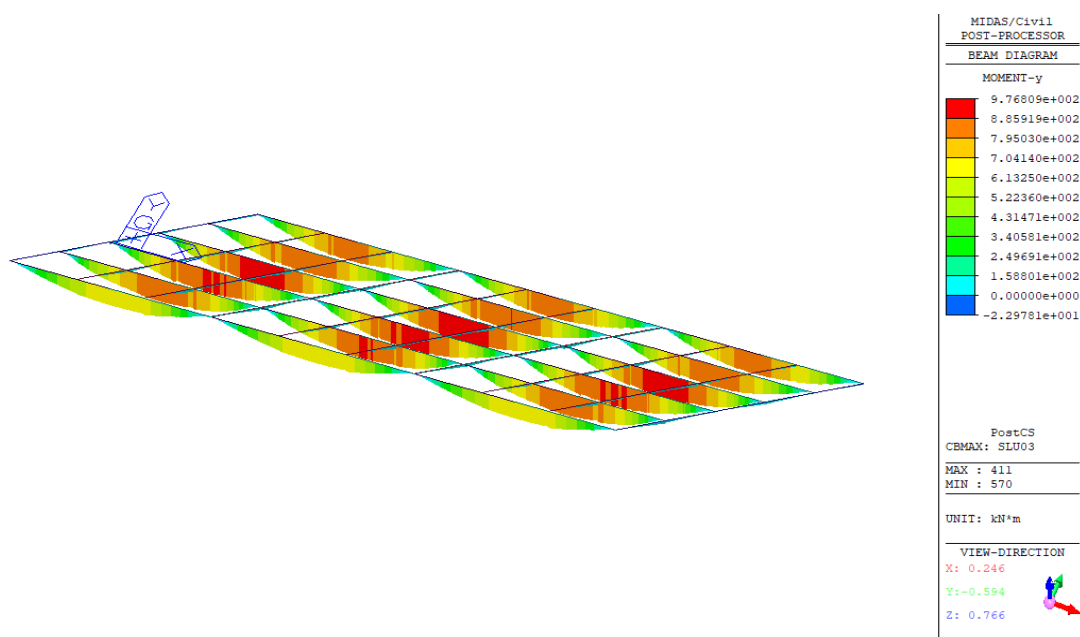


Figure 12.14: Il momento flettente massimo SLU03 in combinazione di transitabilità

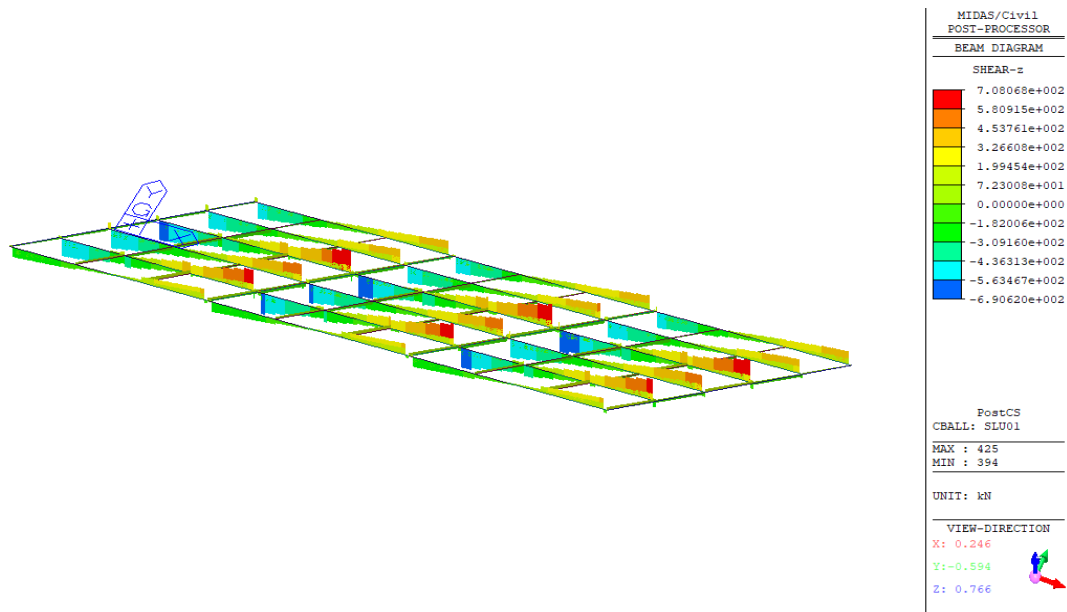


Figure 12.15: Il taglio massimo SLU01 in combinazione NTC2018

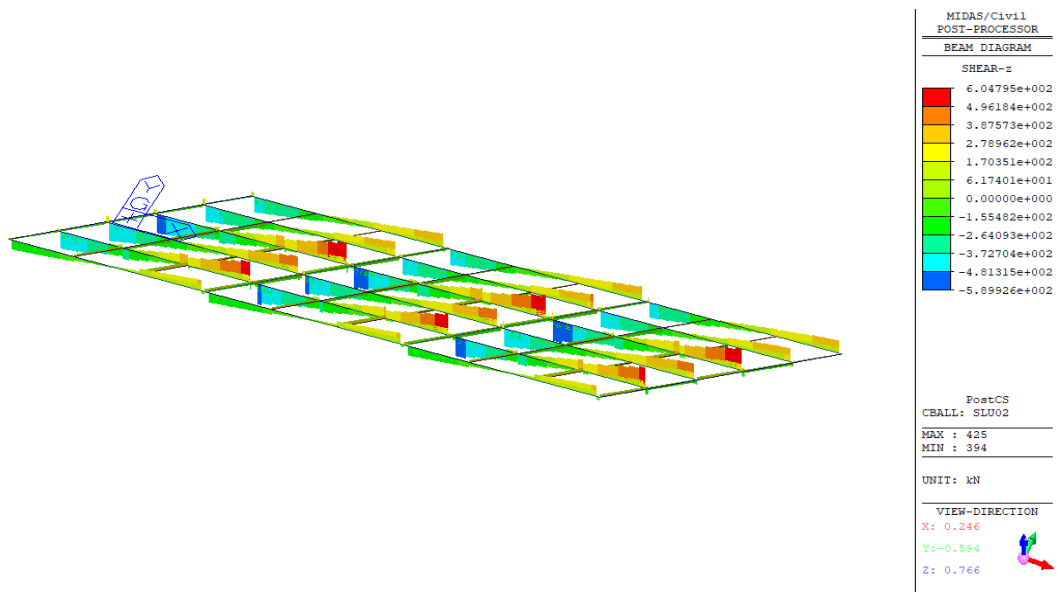


Figure 12.16: Il taglio massimo SLU02 in combinazione di operatività

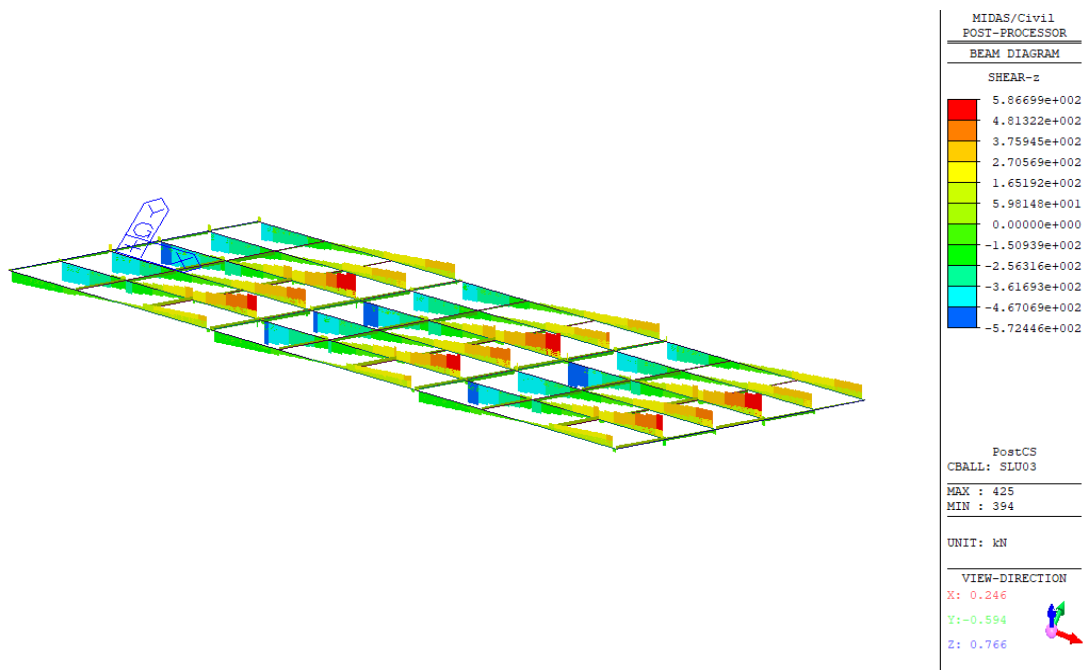


Figure 12.17: Il taglio massimo SLU03 in combinazione di rtransitabilità

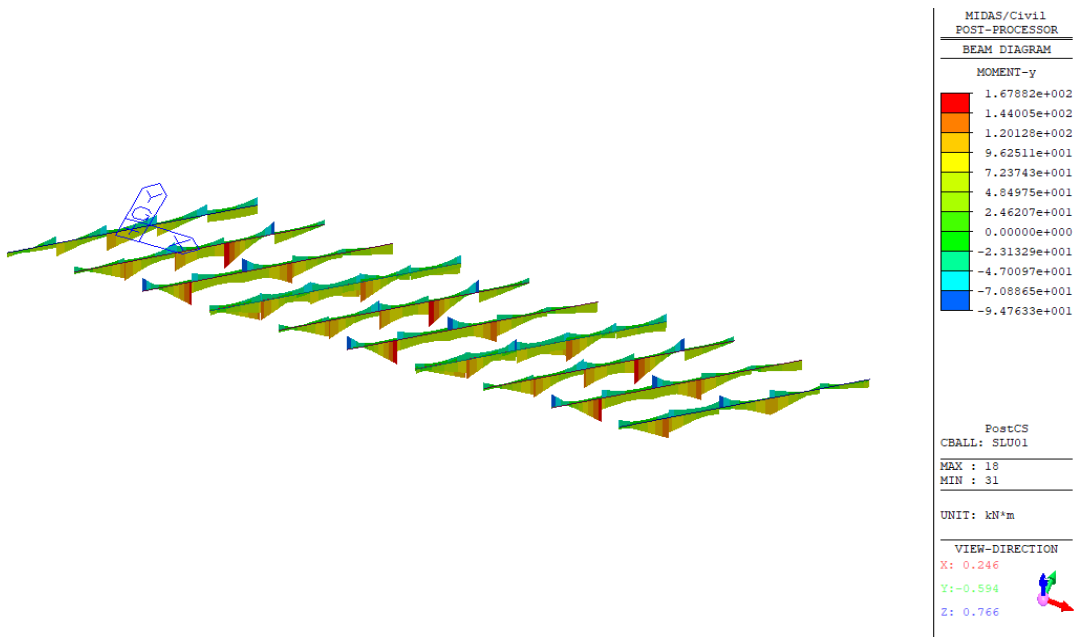


Figure 12.18: Il momento flettente massimo sui traversi SLU01 in combinazione NTC 2018

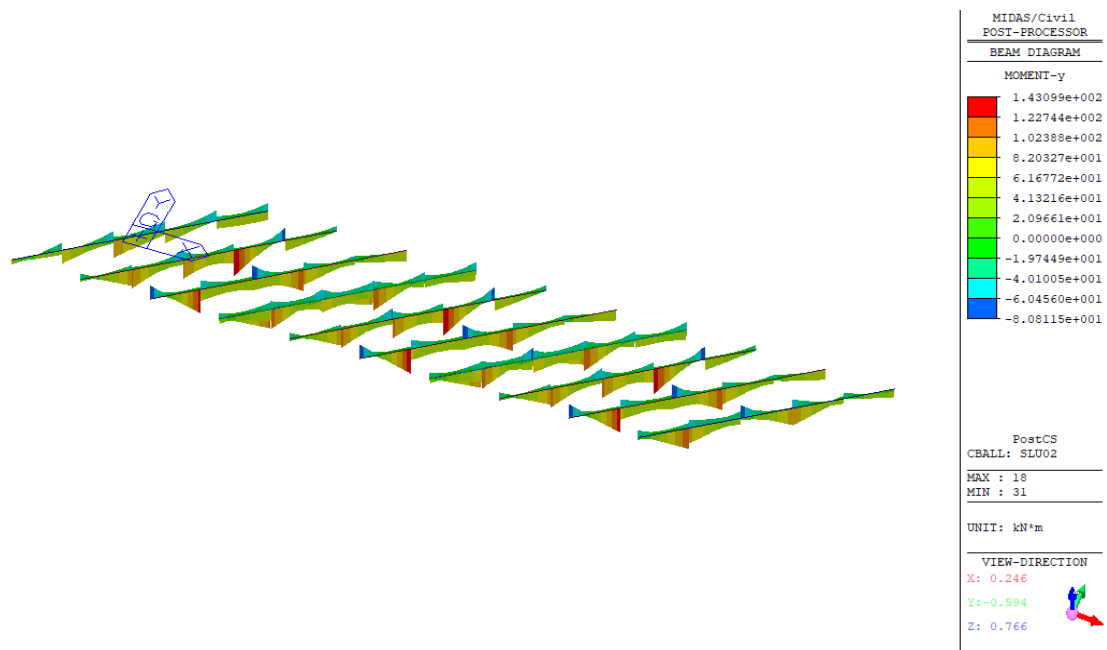


Figure 12.19: Il momento flettente massimo sui traversi SLU02 in combinazione di operatività

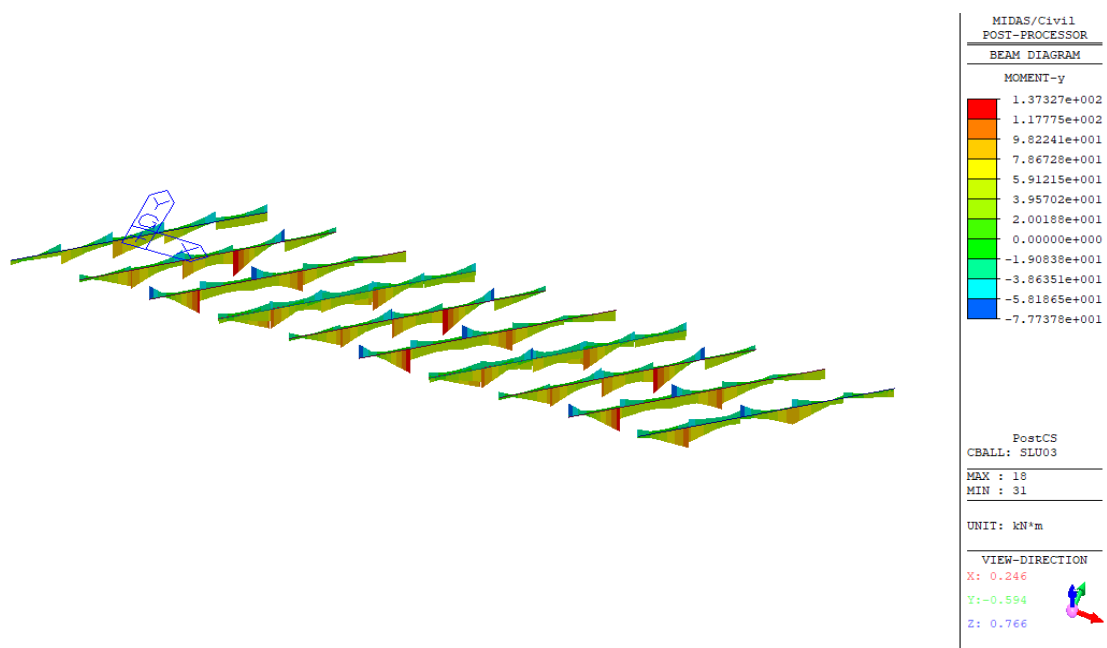


Figure 12.20: Il momento flettente massimo sui traversi SLU02 in combinazione di transitabilità

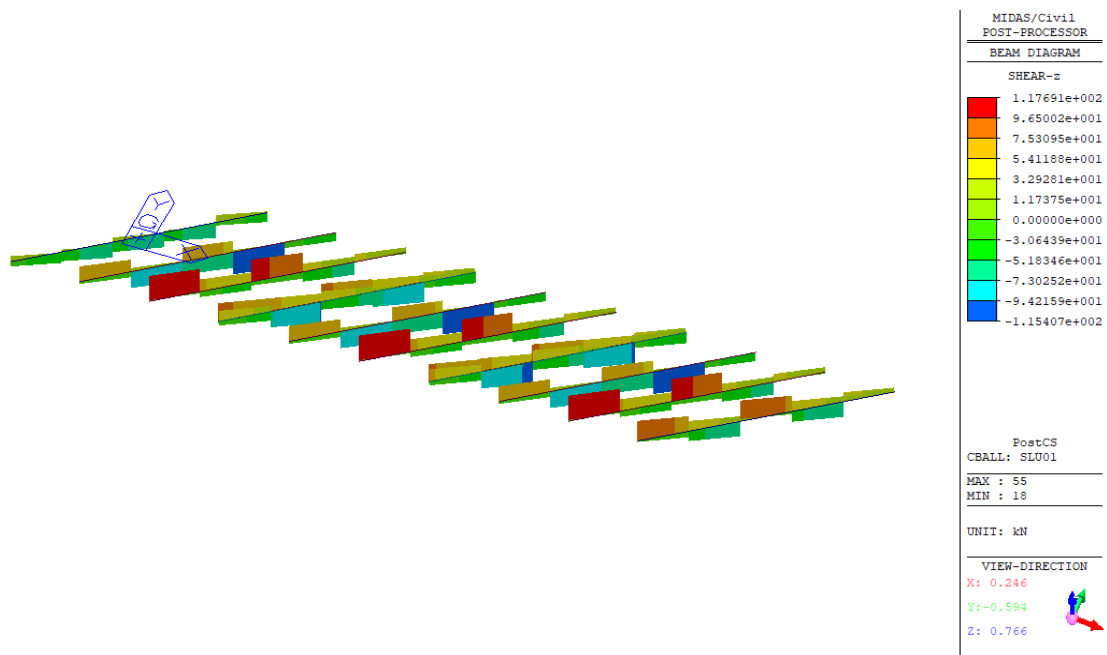


Figure 12.21: Il taglio massimo sui traversi SLU01 in combinazione NTC 2018

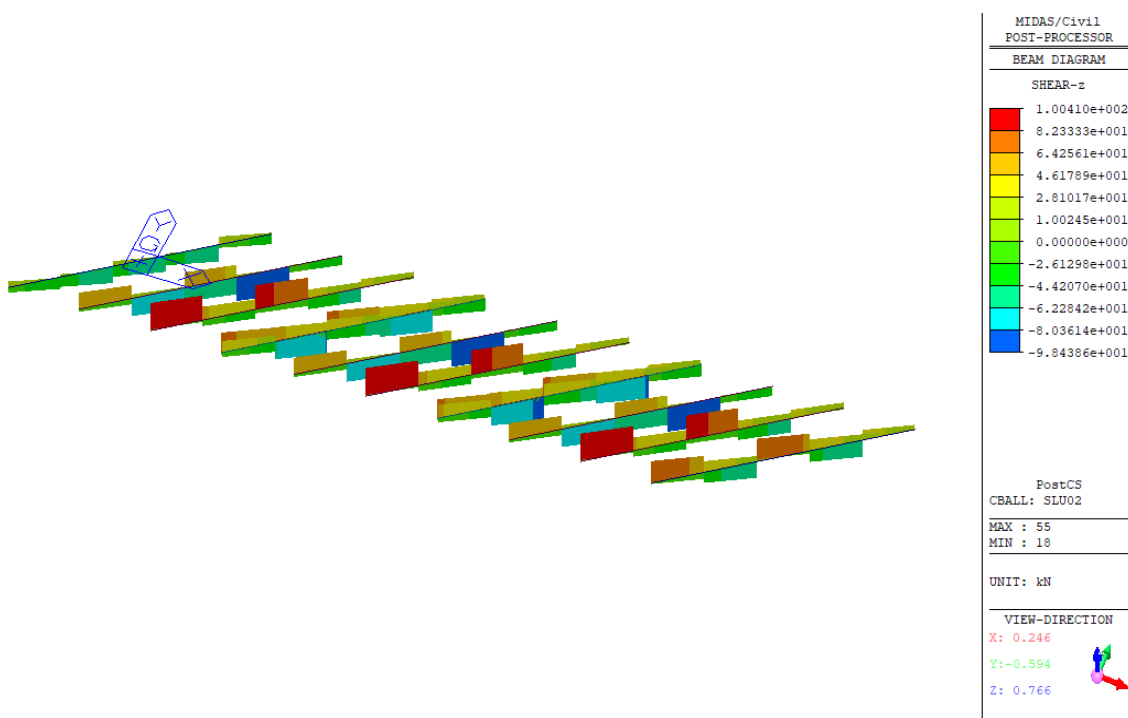


Figure 12.22: Il taglio massimo sui traversi SLU01 in combinazione di operatività

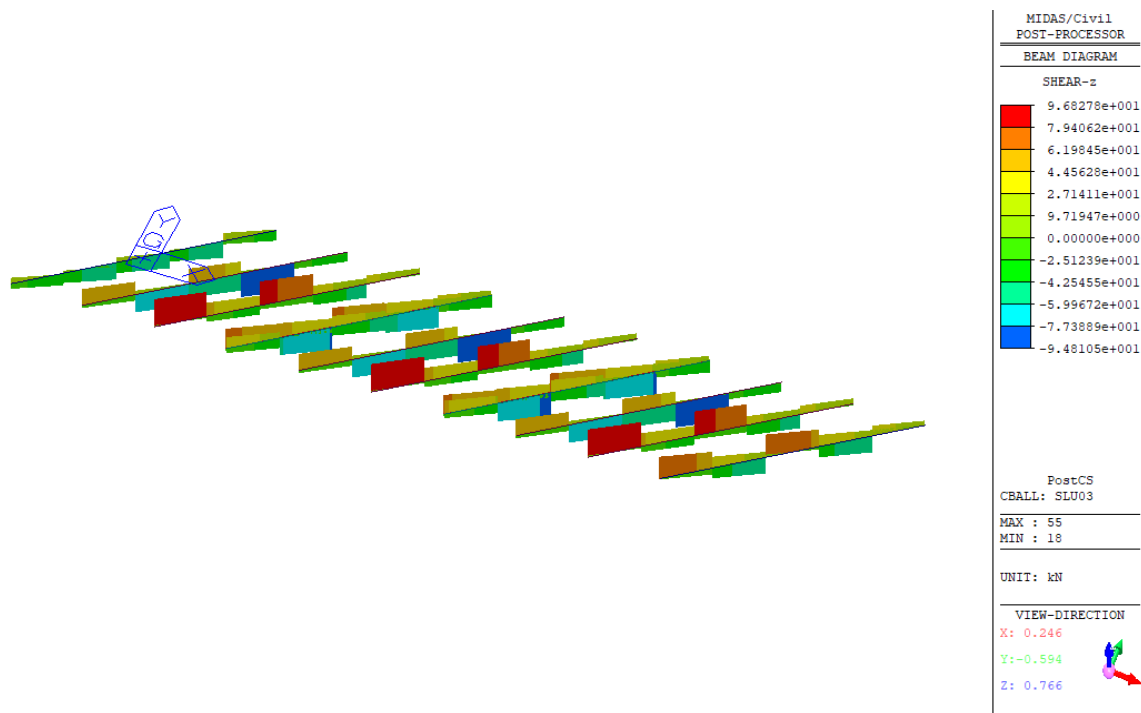


Figure 12.23: Il taglio massimo sui traversi SLU01 in combinazione di transitabilità

I carichi e sovraccarichi sono quindi combinati secondo le indicazioni fornite dalle NTC 2018 e quindi dalle Linee Guida per la valutazione della sicurezza dei ponti esistenti”.

12.2 L'ANALISI DELLE SOTTOSTRUTTURE

Le sottostrutture sono state analizzate con riferimento alle risultanze del modello.

13 VERIFICA DELLE TRAVI SECONDO LE INDICAZIONI DI CUI ALLE NTC 2018

L'impalcato del ponte è stato analizzato attraverso un modello FEM con l'ausilio del programma di calcolo MIDAS CIVIL 2018. Si riporta di seguito l'analisi dell'impalcato.

13.1 DEFINIZIONE DEL MODELLO

Il modello di calcolo è costituito dai seguenti elementi:

- nodi 1195
- elementi 1564

Le tre travi principali e i traversi sono definite mediante elementi *beam*. Gli elementi spalla e pile sono stati modellati con elementi *plate*.

13.2 CARATTERISTICHE INERZIALI IMPALCATO

Il ponte è definito da tre campate con tipologia in calcestruzzo armato a sezione variabile. Risulta disposto in sghembo con angolo tra asse impalcato e asse spalle/pile pari a 52° . Le travi sono del tipo a sezione variabile con altezza pari a $1,05 + 0,15 = 1,20$ m in asse appoggi spalle/pile e $0,75 + 0,15 = 0,90$ m in asse impalcati. I traversi di spalla risultano di spessore 0,30 m a tutt'altezza impalcato. I traversi intermedi, due per campata, risultano di spessore 0,25 m e altezza 0,55 m. La soletta risulta di spessore 0,15 m. L'interasse travi è pari a 1,40 m. Gli sbalzi esterni risultano sagomati a Z per un aggetto da asse travi pari a 0,98 m, e spessore sempre pari a 15 cm.

Le valutazioni delle caratteristiche inerziali di calcolo sono state eseguite con il programma calcolo Midas Civil.

La sezione d'impalcato risulta ribassata rispetto al piano stradale di 30 cm di cui 10 cm adibiti a pavimentazione bituminosa e 20 cm di fondazione in misto granulare stabilizzato.

I bordi stradali sono protetti solo da due parapetti metallici e quindi la carreggiata si discosta dal bordo esterno di circa 1,00 m. In tal modo la carreggiata stradale risulta pari a circa 6,70 m.

13.3 VERIFICA DELLE TRAVI NELLO STATO ATTUALE NELLA CONDIZIONE IN ACCORDO CON LE NTC2018

Si riportano di seguito le verifiche delle travi secondo le indicazioni di cui alle NTC2018.

Le verifiche sono state svolte con riferimento, a favore della sicurezza, alle indicazioni degli elaborati di contabilità che evidenziano come l'armatura in mezzera sia pari a 7 Ø 28 (mentre negli elaborati di progetto si indicavano 7 Ø 30).

Il momento flettente massimo sulle travi risulta pari a $M_{SLU\ NTC2018} = 1173,32 \text{ kNm}$

Descrizione Sezione:	sezione di mezzera (massima armatura)
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	230.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	200.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	200.00	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	75.0
3	-70.0	75.0
4	-70.0	90.0
5	70.0	90.0
6	70.0	75.0
7	12.5	75.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20
6	7.5	85.0	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	28
2	3	4	1	28

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1072.34	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	1072.34	0.00	0.00	804.13	0.00	0.75	
49.3(9.3)	1)								

1) Momento flettente (vettoriale) superiore al momento flettente resistente

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.068	-70.0	90.0	0.00047	-7.5	85.0	-0.04815	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c. nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000605513	-0.050996172	0.068	0.700

Il coefficiente di sicurezza nella sezione di mezzzeria risulta pari a **0,75** $< 1,00$, e quindi la verifica flessionale **non risulta soddisfatta**.

Il taglio massimo sulle travi risulta pari a $T_{SLU NTC2018} = 708,10$ kNm

Le travi risultano armate al taglio con Ø 12/20 cm. Di seguito si riporta la verifica al taglio

Descrizione Sezione:	sezione di appoggio
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42
	Resist. caratt. snervam. fyk:	230.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	200.00 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	200.00 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C25/30	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

1	-12.5	0.0
2	-12.5	105.0
3	-70.0	105.0
4	-70.0	120.0
5	70.0	120.0
6	70.0	105.0
7	12.5	105.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	115.0	20
6	7.5	115.0	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	12	mm
Passo staffe:	20.0	cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale	

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	0.10	0.00	708.10	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copri ferro netto minimo barre longitudinali:	3.3	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2	cm
Copri ferro netto minimo staffe:	2.1	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)								
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)								
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)								
	Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]								
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	0.10	0.00	0.00	555.68	0.00	999.00	
30.9(12.1)									

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00241	0.034	-70.0	120.0	-0.00062	-7.5	115.0	-0.06750	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000606323	-0.070349718	0.034	0.700

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	708.10	987.22	773.26	77.7	57.9	2.500	1.000	10.4	11.3(0.0)

La sezione risulta verificata.

13.3.1 La verifica di operatività

Secondo le recenti disposizioni ministeriali, un ponte viene definito *operativo* quando soddisfa le verifiche da normativa effettuate considerando un tempo di riferimento limitato a 30 anni. Scopo di tutte le successive verifiche è accertare che la struttura in esame raggiunga un livello minimo di affidabilità tale che $\beta = 2.8$.

Rispetto alla valutazione della sicurezza trattata nel capitolo precedente, per la verifica di operatività gli unici fattori a cambiare sono i coefficienti di sicurezza.

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Per quanto riguarda le azioni, si utilizzano i seguenti coefficienti parziali rispettivamente per carichi permanenti e azioni variabili: $\gamma_G = 1.16$, $\gamma_Q = 1.15$, da applicare ai carichi da traffico convenzionali definiti dalle NTC.

Il momento flettente massimo sulle travi risulta in tal modo uguale pari a $M_{SLU \text{ operatività}} = 1002,89 \text{ kNm}$

Inoltre devono essere ridotti anche i coefficienti di sicurezza applicati ai materiali. Si considererà $\gamma_c = 1,25$ per il calcestruzzo, $\gamma_s = 1,10$ per l'acciaio da cemento armato. Conseguentemente, le azioni resistenti di calcolo sono state ricalcolate come di seguito illustrato:

Descrizione Sezione:	sezione di mezzeria (massima armatura)
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42ridotto	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	270.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	230.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	209.09	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	75.0
3	-70.0	75.0
4	-70.0	90.0
5	70.0	90.0
6	70.0	75.0
7	12.5	75.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20
6	7.5	85.0	20

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	28
2	3	4	2	28

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1002.89	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
	Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1002.89	0.00	0.00	1029.71	0.00	1.03	55.4(7.6)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.083	-70.0	90.0	0.00104	-7.5	85.0	-0.03842	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.				
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45				
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue				
N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000491413	-0.040727199	0.083	0.700

Il coefficiente di sicurezza nella sezione di mezzzeria risulta pari a **1,03** > 1,00, e quindi la verifica flessionale **risulta soddisfatta**.

Il momento flettente sulle travi in corrispondenza della riduzione delle armature da 9 Ø 28 a 8 Ø 28 risulta pari a $M_{SLU\text{ operatività}} = 916,69 \text{ kNm}$ (elemento 414 al centro).

Descrizione Sezione:	sezione di mezzzeria (sezione con armatura ridotta a 115 cm dalla mezzzeria)
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto f_{cd} :	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale E_c :	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	2.560 MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42ridotto
	Resist. caratt. snervam. f_{yk} :	270.00 MPa
	Resist. caratt. rottura f_{tk} :	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto f_{yd} :	230.00 MPa
	Resist. ultima di progetto f_{td} :	209.09 MPa
	Deform. ultima di progetto E_{pu} :	0.068
	Modulo Elastico E_f	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	75.0
3	-70.0	75.0
4	-70.0	90.0
5	70.0	90.0
6	70.0	75.0
7	12.5	75.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20
6	7.5	85.0	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	28
2	3	4	1	28

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	916.69	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	916.69	0.00	0.00	921.03	0.00	1.00	49.3(7.8)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [S 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.076	-70.0	90.0	0.00078	-7.5	85.0	-0.04285	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000543330	-0.045399669	0.076	0.700

Il coefficiente di sicurezza nella sezione di mezzzeria risulta pari a **1,00** > 1,00, e quindi la verifica flessionale **risulta soddisfatta**.

Il taglio massimo sulle travi risulta pari a $T_{SLU\text{ operatività}} = 608,80 \text{ kNm}$

Le travi risultano armate al taglio con Ø 12/20 cm. Di seguito si riporta la verifica:

Descrizione Sezione:	sezione all'appoggio
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	230.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	200.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	200.00	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	105.0
3	-70.0	105.0
4	-70.0	120.0
5	70.0	120.0
6	70.0	105.0
7	12.5	105.0
8	12.5	0.0

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	115.0	20
6	7.5	115.0	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	12	mm
Passo staffe:	20.0	cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale	

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	0.10	0.00	604.80	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2	cm
Copriferro netto minimo staffe:	2.1	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata							
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)							
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia							
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia							
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)							
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia							
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia							
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000							
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]							
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic. As Tesa
1	S	0.00	0.10	0.00	0.00	555.68	0.00	999.00
30.9(12.1))								

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

	Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)								
N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00241	0.034	-70.0	120.0	-0.00062	-7.5	115.0	-0.06750	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.				
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45				
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue				
N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000606323	-0.070349718	0.034	0.700

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	604.80	987.22	773.26	77.7	57.9	2.500	1.000	8.8	11.3(0.0)

La sezione risulta verificata (anche senza aver applicato, a favore della sicurezza, le possibili riduzioni dei coefficienti sui materiali).

13.3.2 La verifica di transitabilità

Si considera un tempo di riferimento ulteriormente ridotto a 5 anni.

I coefficienti di sicurezza per tutte le azioni accidentali valgono ora 1,1, mentre i coefficienti delle azioni permanenti restano gli stessi definiti per la verifica di operatività.

Il momento flettente massimo sulle travi risulta in tal modo uguale pari a $M_{SLU \text{ operatività}} = 976,81 \text{ kNm}$

Inoltre si mantengono i ridotti coefficienti di sicurezza applicati ai materiali. Quindi $\gamma_c = 1,25$ per il calcestruzzo, $\gamma_s = 1,10$ per l'acciaio da cemento armato. Conseguentemente, le azioni resistenti di calcolo sono state ricalcolate come di seguito illustrato:

Descrizione Sezione:	sezione di mezzeria (massima armatura)
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42ridotto	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	270.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	230.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	209.09	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	75.0
3	-70.0	75.0
4	-70.0	90.0
5	70.0	90.0
6	70.0	75.0
7	12.5	75.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20
6	7.5	85.0	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	28
2	3	4	2	28

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	976.81	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	976.81	0.00	0.00	1029.71	0.00	1.05	
55.4(7.6))									

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.083	-70.0	90.0	0.00104	-7.5	85.0	-0.03842	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000491413	-0.040727199	0.083	0.700

Il coefficiente di sicurezza nella sezione di mezzeria risulta pari a **1,05** > 1,00, e quindi la verifica flessionale **risulta soddisfatta**.

Il momento flettente sulle travi in corrispondenza della riduzione delle armature da 9 Ø 28 a 8 Ø 28 risulta pari a $M_{SLU\ NTC2018} = 893,08\text{ kNm}$ (elemento 414 al centro).

Descrizione Sezione: sezione di mezzeria (armatura ridotta a 115 cm dall'asse trave)
Metodo di calcolo resistenza: Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione: Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento: N.T.C.
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42ridotto	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	270.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	230.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	209.09	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	75.0
3	-70.0	75.0
4	-70.0	90.0
5	70.0	90.0
6	70.0	75.0
7	12.5	75.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20
6	7.5	85.0	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	28
2	3	4	1	28

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	893.08	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione non verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	893.08	0.00	0.00	921.03	0.00	1.03	

49.3(7.8))

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.076	-70.0	90.0	0.00078	-7.5	85.0	-0.04285	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000543330	-0.045399669	0.076	0.700

Il coefficiente di sicurezza nella sezione di mezzzeria risulta pari a **1,03** $> 1,00$, e quindi la verifica flessionale **risulta soddisfatta**.

Il taglio massimo sulle travi risulta pari a $T_{SLU\text{ operatività}} = 586,70\text{ kNm}$

Le travi risultano armate al taglio con $\varnothing 12/20\text{ cm}$. Di seguito si riporta la verifica:

Descrizione Sezione:	sezione all'appoggio
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
ACCIAIO -	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Tipo:	AQ42
	Resist. caratt. snervam. fyk:	230.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	200.00 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	200.00 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	105.0
3	-70.0	105.0
4	-70.0	120.0
5	70.0	120.0

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

6	70.0	105.0
7	12.5	105.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	115.0	20
6	7.5	115.0	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	12	mm
Passo staffe:	20.0	cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale	

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	0.10	0.00	586.70	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2	cm
Copriferro netto minimo staffe:	2.1	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)								
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)								
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]								
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	0.10	0.00	0.00	555.68	0.00	999.00	
30.9(12.1)									

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00241	0.034	-70.0	120.0	-0.00062	-7.5	115.0	-0.06750	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000606323	-0.070349718	0.034	0.700

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	586.70	987.22	773.26	77.7	57.9	2.500	1.000	8.6	11.3(0.0)

La sezione risulta verificata (anche senza aver applicato, a favore della sicurezza, le possibili riduzioni dei coefficienti sui materiali).

13.3.3 Condizione 1 - Divieto di transito ai mezzi di peso eccezionale

Per il ponte in oggetto risulta necessario, allo stato attuale, interdire la possibilità di transito per i mezzi che il Codice della strada considera come transiti eccezionali, ovvero di peso superiore a 44 ton nel caso di veicoli a quattro assi.

13.4 RIEPILOGO DELLE VERIFICHE ALLO STATO ATTUALE

Con riferimento alle verifiche svolte al paragrafo precedente. Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei risultati attesi:

Condizione di verifica	M [kNm]	T [kN]	Coefficiente di sicurezza	armatura	nota
Attuali NTC 2018	1173,32	0,00	0,77 (non verificata)	9 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup	sezione in mezzzeria
Attuali NTC 2018	1072,34	0,00	0,75 (non verificata)	8 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup	sezione con prima riduzione di armatura
Attuali NTC 2018	0,00	708,10	Verificata	Staffe Φ 12/20 cm	sezione all'appoggio
Condizione di operatività	1002,98	0,00	1,03 (verificata)	9 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup	sezione in mezzzeria
Condizione di operatività	916,69	0,00	1,00 (verificata)	8 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup	sezione con prima riduzione di armatura
Condizione di operatività	0,00	608,80	Verificata	Staffe Φ 12/20 cm	sezione all'appoggio
Condizione di transitabilità	976,81	0,00	1,05 (verificata)	9 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup	sezione in mezzzeria
Condizione di transitabilità	893,08	0,00	1,03 (verificata)	8 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup	sezione con prima riduzione di armatura
Condizione di transitabilità	0,00	586,70	Verificata	Staffe Φ 12/20 cm	sezione all'appoggio

13.5 LA VERIFICA DELLE TRAVI NELLA CONFIGURAZIONE DI RINFORZO SOLETTA

L'intervento di consolidamento prevede la rimozione dello strato in misto granulare stabilizzato posto al di sopra dell'attuale soletta da 15 cm, previa opportuna idrodemolizione e ripristino delle armature corrose, e quindi posa di un nuovo strato di calcestruzzo strutturale alleggerito di spessore 25 cm. In tal modo si vanno da un lato a ridurre i pesi sopportati dall'impalcato per la riduzione da peso specifico di misto stabilizzato, pari a circa 22 kN/mc, a quello del calcestruzzo alleggerito, pari a 17,0 kN/mc e quindi ad un aumento dell'altezza della sezione a T delle travi che passa dagli attuali minimi 90 cm a 115 cm.

La nuova soletta è connessa all'esistente attraverso spinotti di diametro 16 mm in ragione di 9 al mq.

A favore della sicurezza nelle verifiche sotto riportate non si è considerato il vantaggio di riduzione del peso specifico del ringrosso sopra descritto e si è considerato un calcestruzzo omogeneo di classe C25/30 e per tutte le armature, anche per le integrative, le caratteristiche degli acciai originali del tipo Aq 42.

Le verifiche sono quindi state svolte per le seguenti condizioni di carico:

Combinazione	M [kNm]	armatura	Nota
SLU	1173,32	9 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione di mezzeria trave maggiormente sollecitata
SLE combinazione quasi permanente	347,39	9 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione di mezzeria trave maggiormente sollecitata
SLE combinazione frequente	869,06 (a favore della sicurezza posto uguale al valore di combinazione rara)	9 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione di mezzeria trave maggiormente sollecitata
SLE combinazione rara	869,06	9 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione di mezzeria trave maggiormente sollecitata
SLU	1002,98	8 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione con prima riduzione di armatura di mezzeria trave maggiormente sollecitata
SLE combinazione quasi permanente	332,90	8 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione con prima riduzione di armatura di mezzeria trave maggiormente sollecitata

SLE combinazione frequente	742,95	8 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione con prima riduzione di armatura di mezzera trave maggiormente sollecitata
SLE combinazione rara	742,95	8 Φ 28 inf e 2 Φ 20 sup su trave esistente e 5 + 5 Φ 12 in soletta di rinforzo	Sezione con prima riduzione di armatura di mezzera trave maggiormente sollecitata

Di seguito si riportano le relative verifiche.

Sezione di massimo momento flettente - mezzera

Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300 mm
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42
	Resist. caratt. snervam. fyk:	230.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	200.00 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	200.00 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	184.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	75.0
3	-70.0	75.0

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

4	-70.0	115.0
5	70.0	115.0
6	70.0	75.0
7	12.5	75.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20
6	7.5	85.0	20
7	-65.0	110.0	12
8	65.0	110.0	12
9	-65.0	92.0	12
10	65.0	92.0	12

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	28
2	3	4	2	28
3	7	8	4	12
4	9	10	4	12

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1173.32	0.00	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione			
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione			
N°Comb.	N	Mx	My	
1	0.00	869.06	0.00	

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione			
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione			

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	869.06 (367.55)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	347.39 (367.55)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.3 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	0.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1173.32	0.00	0.00	1230.47	0.00	1.05	
68.5(19.2)									

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.070	-70.0	115.0	0.00123	-65.0	110.0	-0.04666	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000454749	-0.048796128	0.070	0.700

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.99	70.0	115.0	-160.9	3.8	4.7	375	55.4

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.99	70.0	115.0	-160.9	3.8	4.7	375	55.4

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copri ferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My
fess											
1	S	-0.00085	0	0.500	28.0	33	0.00070 (0.00048)	144	0.102 (0.40)	367.55	
0.00											

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.59	70.0	115.0	-64.3	3.8	4.7	375	55.4

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My
fess											
1	S	-0.00034	0	0.500	28.0	33	0.00025 (0.00019)	144	0.037 (0.30)	367.55	
0.00											

Il coefficiente di sicurezza nella sezione con riduzione di armatura risulta pari a **1,05** > 1,00, e quindi la verifica flessionale **risulta soddisfatta**.

Sezione di massimo momento flettente - mezzeria

Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	230.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	200.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	200.00	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	184.00	MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-12.5	0.0
2	-12.5	75.0
3	-70.0	75.0
4	-70.0	115.0
5	70.0	115.0
6	70.0	75.0
7	12.5	75.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-7.5	4.7	28
2	7.5	4.7	28
3	-7.5	7.7	28
4	7.5	7.7	28
5	-7.5	85.0	20
6	7.5	85.0	20
7	-65.0	110.0	12
8	65.0	110.0	12
9	-65.0	92.0	12
10	65.0	92.0	12

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	28
2	3	4	1	28
3	7	8	4	12
4	9	10	4	12

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1002.98	0.00	0.00	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	742.95	0.00

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	742.95 (349.98)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	332.90 (349.98)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.3 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 0.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
 Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Tesa	Area armature trave [cm ²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1002.98	0.00	0.00	1105.67	0.00	1.10	
62.3(19.3)									

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.063	-70.0	115.0	0.00098	-65.0	110.0	-0.05216	-7.5	4.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000504607	-0.054529760	0.063	0.700

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.56	70.0	115.0	-153.2	3.8	4.7	363	49.3

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.56	70.0	115.0	-153.2	3.8	4.7	363	49.3

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2] = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

k2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My
fess											
1	S	-0.00081	0	0.500	28.0	33	0.00066 (0.00046)	147	0.097 (0.40)	349.98	
0.00											

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.59	-70.0	115.0	-68.7	3.8	4.7	363	49.3

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My
fess											
1	S	-0.00036	0	0.500	28.0	33	0.00027 (0.00021)	147	0.040 (0.30)	349.98	
0.00											

Il coefficiente di sicurezza nella sezione con riduzione di armatura risulta pari a **1,10** > 1,00, e quindi la verifica flessionale **risulta soddisfatta**.

Da quanto sopra si evidenzia come l'intervento di consolidamento garantisca l'adeguatezza al transito dei carichi previsti dalle attuali NTC 2018.

14 LA SOLETTA

La soletta risulta essere di soli 15 cm e manifesta particolare criticità sia per gli effetti flessionali che taglianti secondo le attuali disposizioni di carico delle NTC 2018.

Al fine di garantire i nuovi carichi previsti dalle attuali NTC 2018 si adotta un ringrosso della soletta sfruttando lo spazio attualmente adibito alla massicciata stradale, così da avere oltre che ad un effettivo vantaggio agli effetti della soletta anche un vantaggio ai fini della definizione del Momento resistente delle travi. In tal senso si ringrossa la soletta di ulteriori 20 cm con disposizione di 9 spinotti di collegamento Ø 16 maglia 30 x 30 cm e armatura trasversale e longitudinale definita da 1 + 1 Ø 16/20 cm.

Di seguito si riporta il calcolo delle sollecitazioni e la relativa verifica.

14.1 Calcolo delle sollecitazioni secondo il nuovo schema statico di soletta incastrata alle estremità

Si considera nel calcolo una profondità di soletta pari ad 1,00 m.

Analisi dei carichi

Nel calcolo delle sollecitazioni, a favore della sicurezza, si considera il peso proprio della soletta anche se già assorbito dalle armature disposte al lembo inferiore.

Permanenti

Peso proprio soletta esistente $g_{\text{peso soletta}} = s \cdot \gamma_{\text{pav}} = 0,15 \times 25,0 = 3,75 \text{ kN/m}^2$

Peso proprio soletta di rinforzo $g_{\text{peso soletta}} = s \cdot \gamma_{\text{pav}} = 0,20 \times 17,0 = 3,40 \text{ kN/m}^2$

Peso pavimentazione $g_{\text{pavimentazione}} = s \cdot \gamma_{\text{pav}} = 0,10 \times 22,0 = 2,20 \text{ kN/m}^2$

Carichi mobili

Il veicolo tipo è disposto sulla sezione trasversale dell'impalcato in modo da massimizzare il momento negativo nell'appoggio sulle travi ed il momento positivo in campata tra le travi.

Momento massimo in campata

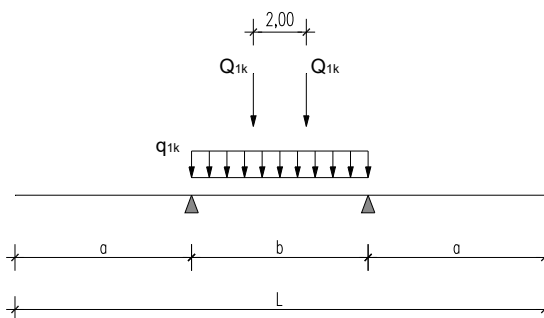


Figura 14.1 : Schema massimo momento in campata

Momento massimo all'appoggio

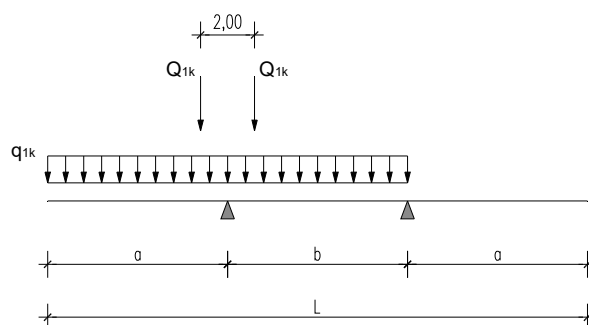


Figura 14.2 : Schema massimo momento all'appoggio

I carichi concentrati da considerarsi ai fini delle verifiche locali si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire secondo un angolo di 45° , fino al piano medio della struttura della soletta sottostante (si veda figura 14.3). A favore della sicurezza si considera lo spessore della pavimentazione minimo di 10 cm).

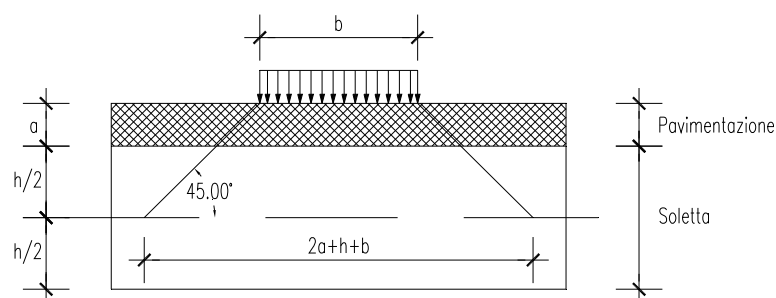


Figura 14.3 : Diffusione impronta di carico

Impronta ruota	$b = 0,40 \text{ m}$
Altezza pavimentazione	$a = 0,10 \text{ m}$
Altezza soletta	$h = 0,15 + 0,50 = 0,35 \text{ m}$
Diffusione carico	$d = 2 \cdot a + h + b = 0,95 \text{ m}$

Nella direzione trasversale, le tensioni si distribuiscono fino alla sezione in appoggio per una larghezza B come indicato in figura 14.4.

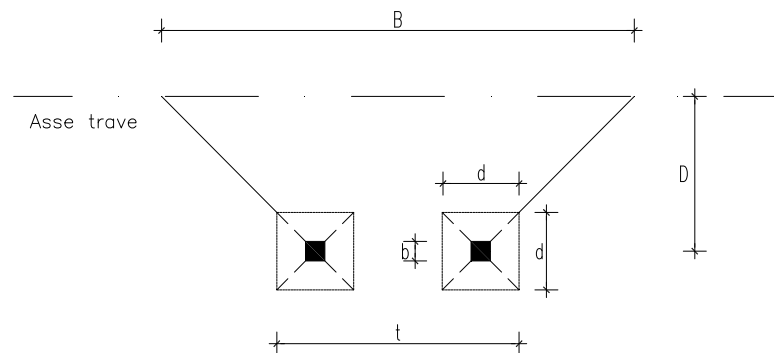


Figura 14.4 : Larghezza collaborante

- Momento massimo in campata

Distanza appoggio $D = 0,70 \text{ m}$

$t = 2,00 + d = 2,95 \text{ m}$

Larghezza collaborante $B_{cam} = t + 2 \cdot \left(D - \frac{d}{2} \right) = 3,40 \text{ m}$

- Momento massimo all'appoggio

Distanza appoggio $D = 1,00 \text{ m}$

$t = 2,00 + d = 2,95 \text{ m}$

Larghezza collaborante $B_{cam} = t + 2 \cdot \left(D - \frac{d}{2} \right) = 4,00 \text{ m}$

Sollecitazioni in mezzzeria e all'incastro soletta

- Momento massimo in campata

Permanente $M_{per} = (3,75 + 3,40 + 2,20) \times 1,40^2/24 = 0,76 \text{ kNm/m}$

$V_{per} = 0,00 \text{ kN/m}$

Accidentale $M_{acc} = 300 \times 1,40/8 = 52,50 \text{ kNm}$

$V_{acc} = 0,00 \text{ kN}$

Combinazione SLU $M_{cam} = 1,35 \cdot M_{per} + 1,35 \cdot \frac{M_{acc}}{B_{cam}} = 21,87 \text{ kNm/m}$

$V_{cam} = 1,35 \cdot V_{per} + 1,35 \cdot \frac{V_{acc}}{B_{cam}} = 0,00 \text{ kN/m}$

Combinazione SLE – Quasi Perm.	$M_{cam} = 1,00 M_{per} = 0,76 \text{ kNm/m}$
Combinazione SLE - Freq.	$M_{cam} = 1,00 M_{per} + 0,75 M_{acc}/B_{cam} = 12,34 \text{ kNm/m}$
Combinazione SLE - Rara	$M_{cam} = 1,00 M_{per} + 1,00 M_{acc}/B_{cam} = 16,20 \text{ kNm/m}$

- Momento massimo all'appoggio

Permanente $M_{per} = -(3,75 + 3,40 + 2,20) \times 1,40^2/12 = -1,53 \text{ kNm/m}$

$V_{per} = (3,75 + 3,40 + 2,20) \times (1,40 - 0,12)/2 = 5,98 \text{ kN/m}$

Accidentale $M_{acc} = -300 \times 1,40/8 = -52,50 \text{ kNm}$

$V_{acc} = 300,00 \text{ kN}$

Combinazione SLU $M_{app} = 1,35 \cdot M_{per} + 1,35 \cdot \frac{M_{acc}}{B_{app}} = -19,78 \text{ kNm/m}$

$V_{app} = 1,35 \cdot V_{per} + 1,35 \cdot \frac{V_{acc}}{B_{app}} = 109,32 \text{ kN/m}$

Combinazione SLE – Quasi Perm.	$M_{cam} = 1,00 M_{per} = -1,53 \text{ kNm/m}$
Combinazione SLE - Freq.	$M_{cam} = 1,00 M_{per} + 0,75 M_{acc}/B_{cam} = -11,37 \text{ kNm/m}$
Combinazione SLE - Rara	$M_{cam} = 1,00 M_{per} + 1,00 M_{acc}/B_{cam} = -14,66 \text{ kNm/m}$

14.2 Verifica sezioni

Si riporta la verifica sezionale della soletta per la sezione in mezzera tra le travi e per la sezione in continuità sulle travi. Nelle verifiche si è considerato il solo contributo della soletta integrativa da 25 cm arcata con $1 + 1 \Phi 16/20 \text{ cm}$

Verifica flessionale

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto f_{cd} :	14.16 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ϵ_{c2} :	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ϵ_{cu} :	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale E_c :	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	2.560 MPa

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.000	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	15.000	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	11.250	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.00	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	25.0	cm
Barre inferiori:	5Ø16	(10.1 cm²)
Barre superiori:	5Ø16	(10.1 cm²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	21.87	0.00	0.00
2	0.00	-19.78	0.00	0.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	16.20
2	0.00	-14.66

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	12.34 (29.28)
2	0.00	-11.37 (-29.28)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante	
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo	

Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	0.76 (29.28)
2	0.00	-1.53 (-29.28)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	11.4	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.									
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45									
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]									
N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	0.00	21.87	0.01	73.30	3.352	20.1	0.26	0.76	20.1 (2.8)
2	S	0.00	-19.78	0.01	-73.30	3.706	4.9	0.26	0.76	20.1 (2.8)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione					
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)					
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)					
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	25.0	-0.00082	19.0	-0.01017	6.0
2	0.00350	0.0	-0.00082	6.0	-0.01017	19.0

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])										
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])										
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)										
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]										
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre										
Ac eff.	Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)										
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)										
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)										
N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	3.06	25.0	0.00	18.8	-95.4	19.0	6.3	627	10.1	
22.0											
2	S	2.77	0.0	0.00	6.2	-86.4	6.0	6.3	627	10.1	
22.0											

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica									
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata									
e2	Massima deformazione unitaria (compressione: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata									
K2	= 0.5 per flessione; $\pm(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC									
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2									
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es									
srm	Distanza massima in mm tra le fessure									
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.									
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]									
N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.	
1	S	-0.00070	0.00023	0.50	0.60	0.000286 (0.000286)	347	0.099 (990.00)		
29.28										
2	S	-0.00063	0.00021	0.50	0.60	0.000259 (0.000259)	347	0.090 (990.00)		-
29.28										

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.33	25.0	0.00	18.8	-72.7	19.0	6.3	627	10.1	
22.0											
2	S	2.15	0.0	0.00	6.2	-67.0	6.0	6.3	627	10.1	
22.0											

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.	
1	S	-0.00053	0.00018	0.50	0.60	0.000218 (0.000218)	347	0.076 (0.40)		
29.28										
2	S	-0.00049	0.00016	0.50	0.60	0.000201 (0.000201)	347	0.070 (0.40)		-
29.28										

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.15	25.0	0.00	18.7	-4.5	19.0	6.3	627	10.1	
22.0											
2	S	0.30	0.0	0.00	7.5	-8.9	6.0	6.2	625	10.1	
22.0											

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.	
1	S	-0.00003	0.00001	0.50	0.40	0.000013 (0.000013)	347	0.005 (0.30)		
29.28										
2	S	-0.00007	0.00002	0.50	0.40	0.000027 (0.000027)	346	0.009 (0.30)		-
29.28										

Verifica al taglio

Si riporta di seguito una verifica a taglio di soletta senza considerando, a favore della sicurezza il contributo del solo calcestruzzo.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	40.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	0.10	150.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata						
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)						
Vwct	Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]						
d	Altezza utile sezione [cm]						
bw	Larghezza minima sezione [cm]						
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]						
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [Mpa]						
N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	150.00	154.73	34.0	100.0	0.0040	0.00

15 I FUSTI DELLE PILE

Di seguito si riportano le verifiche delle sezioni dei fusti delle pile.

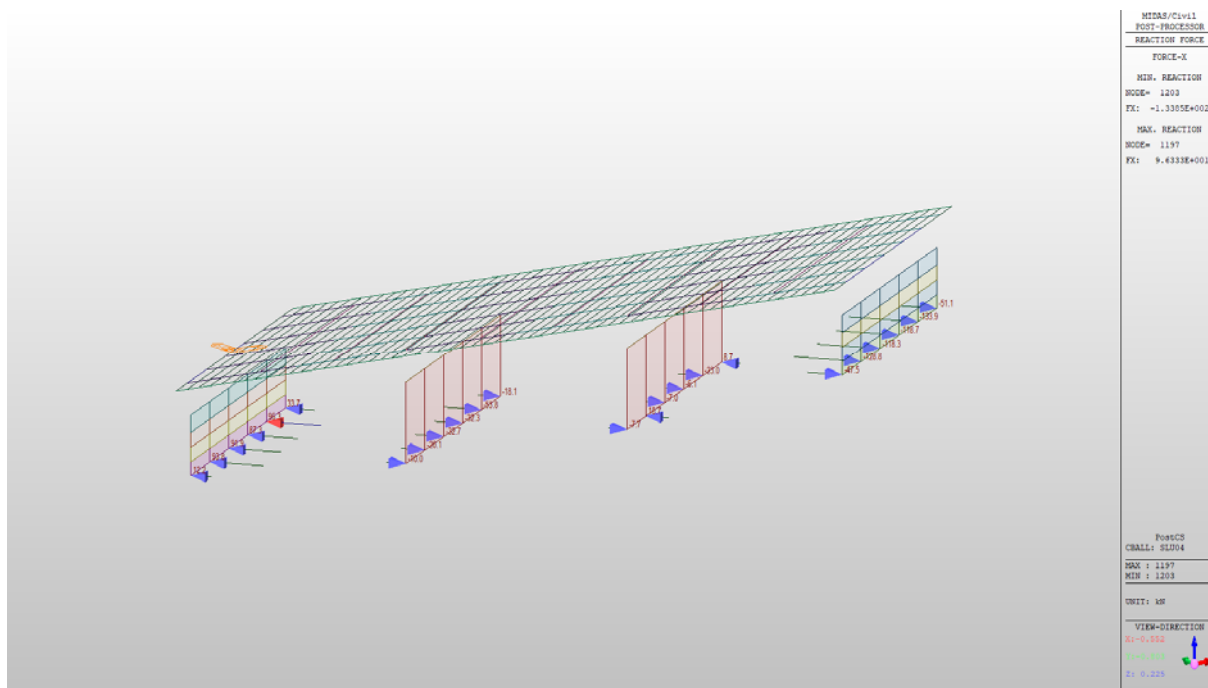


Figura 15.1 : Reazione combinazione frenata

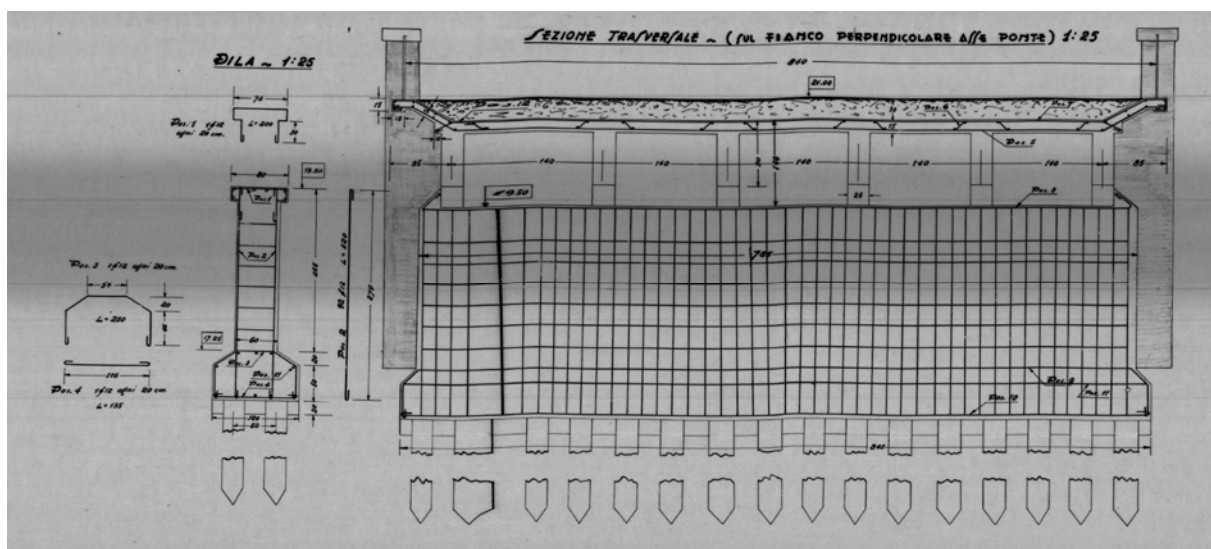


Figura 15.2 : Disegno storico della pila

Node	Load	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)	Mz (kN*m)
1100	SLU04(max)	-12.206373	371.453023	517.903432	-0.000816	-36.832867	7.345759
1101	SLU04(max)	-37.507646	-76.745794	847.604262	-0.001908	-86.210071	-1.250922
1102	SLU04(max)	-20.403775	-31.032668	801.100032	-0.001501	-67.804288	3.662485
1103	SLU04(max)	-23.652571	62.773100	832.260128	-0.001360	-61.452043	2.742020
1104	SLU04(max)	-4.515384	118.656174	821.851944	-0.000975	-44.050186	-1.836628
1105	SLU04(max)	-4.568560	-186.512551	559.581378	-0.000456	-20.539244	-5.319922
1100	SLU04(min)	-18.073839	164.110790	264.053014	-0.001289	-58.272228	1.216991
1101	SLU04(min)	-53.802763	-226.073510	475.204764	-0.002636	-119.165225	-4.946141
1102	SLU04(min)	-32.282297	-168.401778	473.770080	-0.002262	-102.236912	-1.410817
1103	SLU04(min)	-32.682646	-71.755920	469.716074	-0.002090	-94.489029	-2.115823
1104	SLU04(min)	-20.134193	-16.292207	520.982479	-0.001647	-74.441226	-4.448768
1105	SLU04(min)	-9.977473	-360.555859	344.362814	-0.000870	-39.332683	-10.559265

		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
	SLU04(max)	-102.85	258.59	4380.30	-0.01	-316.89	5.34
	SLU04(min)	-166.95	-678.97	2548.09	-0.01	-487.94	-22.26
B [m]		kN/m	kN/m	kN/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m
11.37	SLU04(max)	-9.05	22.74	385.25	0.00	-27.87	0.47
11.37	SLU04(min)	-14.68	-59.72	224.11	0.00	-42.91	-1.96

Tabella 15.1: Valore delle reazioni per la combinazione di frenata

Con riferimento alle armature riportate negli elaborati storici, di seguito si riporta la verifica dell'elevazione della pila considerando un'armatura costituita da $1 + 1 \Phi 12/20$ cm in acciaio tipo Aq42 e considerando un calcestruzzo Rck 30.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

CALCESTRUZZO -	Classe:	C20/25	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	11.33	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	29960.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.210	MPa
ACCIAIO -	Tipo:	AQ42	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	230.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	200.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	200.00	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	60.0	cm
Barre inferiori:	5Ø12	(5.7 cm²)
Barre superiori:	5Ø12	(5.7 cm²)
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	4.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	4.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	4.0	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	385.25	27.87	22.74	0.00
2	224.11	42.91	59.72	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	21.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.4	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.									
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45									
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]									
N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	385.25	27.87	385.35	167.82	6.022	55.2	0.09	0.70	5.7 (14.0)
2	S	224.11	42.91	223.82	125.46	2.924	56.2	0.07	0.70	11.3 (14.0)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	60.0	0.00056	56.0	-0.03767	4.0
2	0.00350	60.0	-0.00014	56.0	-0.04746	4.0

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [Mpa]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	22.74	189.64	56.0	100.0	0.0010	0.06
2	S	59.72	202.35	56.0	100.0	0.0020	0.04

16 VERIFICHE GEOTECNICHE

Le fondazioni delle pile sono definite da un consolidamento in fondazione creato tramite l'infissione di 30 pali del diametro 30 x 30 cm e lunghi 7,00 m (valore definito dagli elaborati di contabilità in difformità con gli elaborati progettuali che indicava 32 pali di dimensioni 25 x 25 e lunghi 6,00 m).

Di seguito si riporta il riepilogo delle sollecitazioni globali sulla fondazione delle pile per le due condizioni di Stato Limite Ultima per effetto principale frenante e per effetto di massima reazione da traffico.

Node	Load	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)	Mz (kN*m)
1100	SLU04(max)	-12.206373	371.453023	517.903432	-0.000816	-36.832867	7.345759
1101	SLU04(max)	-37.507646	-76.745794	847.604262	-0.001908	-86.210071	-1.250922
1102	SLU04(max)	-20.403775	-31.032668	801.100032	-0.001501	-67.804288	3.662485
1103	SLU04(max)	-23.652571	62.773100	832.260128	-0.001360	-61.452043	2.742020
1104	SLU04(max)	-4.515384	118.656174	821.851944	-0.000975	-44.050186	-1.836628
1105	SLU04(max)	-4.568560	-186.512551	559.581378	-0.000456	-20.539244	-5.319922
1100	SLU04(min)	-18.073839	164.110790	264.053014	-0.001289	-58.272228	1.216991
1101	SLU04(min)	-53.802763	-226.073510	475.204764	-0.002636	-119.165225	-4.946141
1102	SLU04(min)	-32.282297	-168.401778	473.770080	-0.002262	-102.236912	-1.410817
1103	SLU04(min)	-32.682646	-71.755920	469.716074	-0.002090	-94.489029	-2.115823
1104	SLU04(min)	-20.134193	-16.292207	520.982479	-0.001647	-74.441226	-4.448768
1105	SLU04(min)	-9.977473	-360.555859	344.362814	-0.000870	-39.332683	-10.559265

		kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
	SLU04(max)	-102.85	258.59	4380.30	-0.01	-316.89	5.34
	SLU04(min)	-166.95	-678.97	2548.09	-0.01	-487.94	-22.26
B [m]		kN/m	kN/m	kN/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m
11.37	SLU04(max)	-9.05	22.74	385.25	0.00	-27.87	0.47
11.37	SLU04(min)	-14.68	-59.72	224.11	0.00	-42.91	-1.96

Tabella 15.1: Valore delle reazioni sulle pile per la combinazione SLU di frenata

Node	Load	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)	Mz (kN*m)
1100	SLU01(max)	11.978098	517.606902	775.223917	0.000482	21.895671	-0.639721
1101	SLU01(max)	-7.331990	-49.564652	1181.323563	0.000315	14.295492	0.236435
1102	SLU01(max)	10.510155	25.705062	1078.197978	0.000567	25.689416	5.717092
1103	SLU01(max)	5.568756	145.168751	1129.244213	0.000529	23.962596	4.685146
1104	SLU01(max)	27.210504	199.858210	1092.319336	0.000680	30.790863	0.082659
1105	SLU01(max)	-2.815825	-236.278138	718.862403	0.000167	7.623236	-0.517284
1100	SLU01(min)	4.154809	241.150591	436.756692	-0.000148	-6.690144	-8.811412
1101	SLU01(min)	-29.058813	-248.668273	684.790899	-0.000656	-29.644715	-4.690523
1102	SLU01(min)	-5.327874	-157.453752	641.758041	-0.000448	-20.220749	-1.047310
1103	SLU01(min)	-6.471344	-34.203276	645.852142	-0.000444	-20.086718	-1.791977
1104	SLU01(min)	6.385424	19.927035	691.160050	-0.000215	-9.730523	-3.400195
1105	SLU01(min)	-10.027709	-468.335882	431.904317	-0.000386	-17.434682	-7.503074

	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU04(max)	45.12	602.50	5975.17	0.00	124.26	9.56
SLU04(min)	-40.35	-647.58	3532.22	0.00	-103.81	-27.24

Tabella 15.2: Valore delle reazioni sulle pile per la combinazione SLU di massimo carico da traffico

Il valore della pressione massima agente in testa palificata risulta definito dalla combinazione di massimo traffico e risulta pari,a:

$$\sigma = 5975,17/(11,37 \times 1,20) \pm 124,26/(11,37 \times 1,20^2/6) = 0,48 \text{ MPa}$$

Tale valore si ritiene compatibile con la tipologia di consolidamento adottata senza necessità di alcun intervento di integrazione di consolidamento. Il tutto è anche afferabile sulla scorta di mancanza di evidenza di problematiche di carattere di cedimenti fondazionali verificatesi in passato.

Analogamente le fondazioni delle spalle sono definite da un consolidamento in fondazione creato tramite l'infissione di 35 pali del diametro 25 x 25 cm e lunghi 5,00 m (valore definito dagli elaborati di contabilità in difformità con gli elaborati progettuali che li indicava di dimensioni 20 x 20 e lunghi 5,00 m).
Di seguito si riporta il riepilogo delle sollecitazioni globali sulla fondazione delle spalle per la condizione di Stato Limite Ultimo per effetto di massima reazione da traffico.

Node	Load	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)	Mz (kN*m)
1196	SLU01(max)	63.444770	48.358768	602.521256	0.000065	2.970465	5.190246
1197	SLU01(max)	177.304736	49.590438	803.648901	0.001641	74.211515	27.675421
1198	SLU01(max)	158.765601	27.888385	733.484888	0.001892	85.547750	12.429179
1199	SLU01(max)	161.491697	10.638048	761.677280	0.001756	79.405420	1.297524
1200	SLU01(max)	178.182129	-23.138796	706.961327	0.001753	79.328011	-16.602714
1201	SLU01(max)	68.961315	-26.777956	415.249330	0.000163	7.348504	-1.354896
1196	SLU01(min)	47.638645	22.849479	297.707055	-0.001359	-61.441186	-2.736437
1197	SLU01(min)	166.313296	12.018718	451.268102	0.001330	60.116409	12.699095
1198	SLU01(min)	154.199472	-9.848271	405.952295	0.001134	51.277434	0.561951
1199	SLU01(min)	155.854771	-26.403370	413.369154	0.001177	53.212985	-12.611615
1200	SLU01(min)	170.460794	-60.453072	451.846532	0.001425	64.382569	-33.343921
1201	SLU01(min)	57.848264	-53.712261	295.073156	-0.000167	-7.621112	-10.021047

	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm	e [m]
SLU01(max)	808.15	86.56	4023.54	0.01	328.81	28.63	0.08
SLU01(min)	752.32	-115.55	2315.22	0.00	159.93	-45.45	0.07

Tabella 15.3: Valore delle reazioni sulle spalle per la combinazione SLU di massimo carico da traffico

Il valore della pressione massima agente in testa palificata risulta definito dalla combinazione di massimo traffico e risulta pari a:

$$\sigma = 4023,54 / (11,02 \times 1,65) \pm 328,81 / (11,02 \times 1,65^2/6) = 0,29 \text{ MPa}$$

Tale valore si ritiene compatibile con la tipologia di consolidamento adottata senza necessità di alcun intervento di integrazione di consolidamento. Il tutto è anche afferribile sulla scorta di mancanza di evidenza di problematiche di carattere di cedimenti fondazionali verificatesi in passato.

La verifica al ribaltamento è soddisfatta stante la bassa eccentricità rilevata pari a circa 8 cm. Analogamente la verifica allo scivolamento porta a:

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Sabbioncelli per il ripristino della capacità portante
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

$$F_{sciv} = 4023,54 \text{ s tav } 2/3 \times 24^{\circ}/808,95 = 1,43 \text{ (verifica soddisfatta)}$$