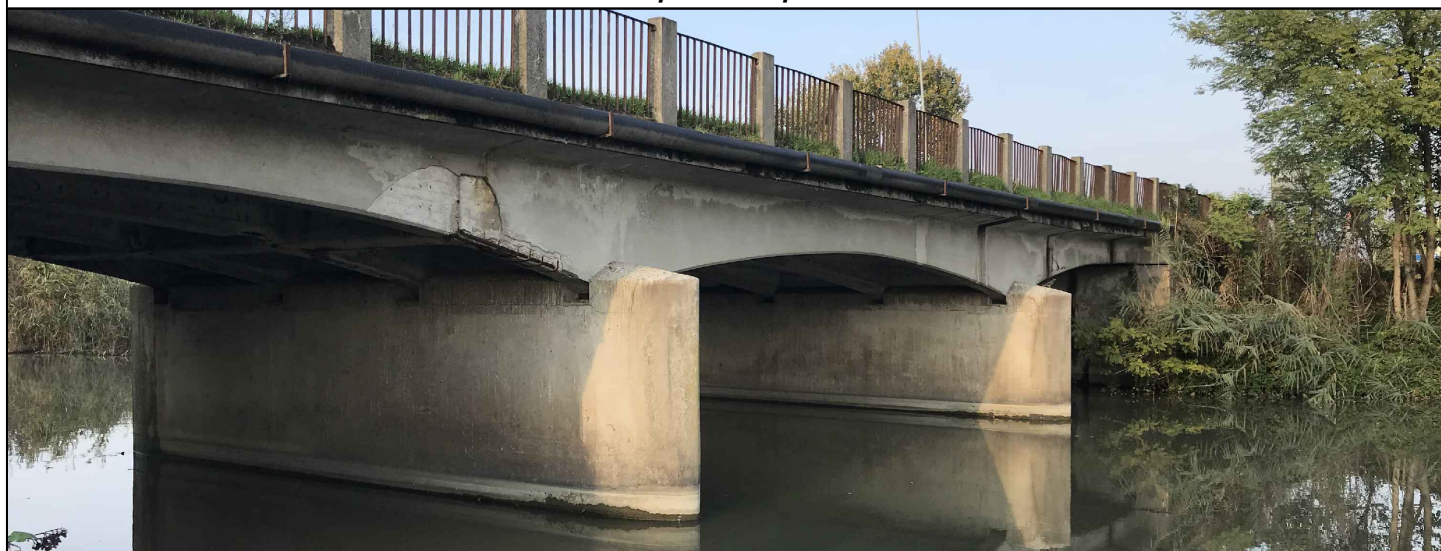




PROVINCIA DI MANTOVA

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 Navarolo in Comune di Commessaggio 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

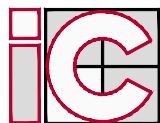
Codice elaborato	Fase progetto:	Tipo elaborato:	Categoria:	Progr.N°:	Rev.N°:
	E	R	110	10	1

CUP:

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

Approvazioni

Il Progettista:



Ingegneri Consulenti

via Kufstein, 1 38121 Trento | via Correggio, 19 20149 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

Oggetto:

PROGETTO ESECUTIVO

Titolo:

RELAZIONE DI CALCOLO

Doc. n: ER 110 – 10 1

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	Variei

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.....	14
5	Descrizione dello stato di conservazione	16
6	Analisi storico-critica, rilievo delle strutture esistenti e caratterizzazione dei materiali ...	17
6.1	Caratterizzazione meccanica dei materiali	17
6.2	Livello di conoscenza assunto.....	17
7	Elaborati di riferimento.....	19
8	Caratteristiche dei materiali.....	20
8.1	Strutture in cemento armato	20
8.1.1	Malte, cls reoplastici e malte premiscelate.....	20
8.1.2	Acciaio per armatura lenta	23
9	Codici di calcolo.....	25
10	Metodi di calcolo e verifica dei rinforzi strutturali	26
10.1	Percentuale minima di armatura	26
10.2	Copriferro	26
10.3	Verifica di fessurazione	26
10.4	Caratteristiche dell'opera strutturale.....	27
10.4.1	Vita nominale	27
10.4.2	Classe d'uso	27
10.4.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	27
10.5	Combinazioni di carico	27
10.5.1	Combinazione statica SLU	28
10.5.2	Combinazione statica SLE.....	29
11	Analisi dei carichi	32
11.1	Peso proprio impalcato (g1) e carichi permanenti (g2) impalcato stato originario e di progetto.....	32
11.2	Azioni variabili da traffico.....	32

11.2.1	Carico da traffico all'atto del progetto originario	32
11.2.2	Definizione delle corsie convenzionali secondo NTC 2018	33
11.2.3	Definizione delle corsie convenzionali	33
11.3	Azione frenante	33
11.3.1	Azione longitudinale di frenamento o accelerazione (q3) secondo la configurazione delle NTC 2018	33
11.4	Azione centrifuga.....	34
11.5	Azione da vento.....	34
11.5.1	Azione del vento (q5) secondo la configurazione delle NTC 2018	34
11.5.2	Analisi	35
11.5.3	Ponte scarico	36
11.5.4	Ponte carico.....	36
11.6	Variazione termica (ϵ_3).....	37
12	Il calcolo delle sollecitazioni dell'impalcato e la definizione in accordo con le Linee guida per la valutazione della sicurezza dei ponti esistenti (Consiglio superiore dei Lavori Pubblici d.d. 17/04/2020).....	38
12.1	L'analisi dell'impalcato.....	39
12.2	L'analisi delle sottostrutture	50
13	verifica delle travi secondo le indicazioni di cui alle NTC 2018.....	51
13.1	Definizione del modello	51
13.2	Caratteristiche inerziali impalcato.....	51
13.3	Verifica delle travi nello stato attuale nella condizione in accordo con le NTC2018 52	
13.3.1	La verifica di operatività	54
13.3.2	La verifica di transitabilità	57
13.3.3	Condizione 1 - Divieto di transito ai mezzi di peso eccezionale	59
13.4	La verifica delle travi nella configurazione di rinforzo soletta	60
14	La soletta	65
14.1	Calcolo delle sollecitazioni secondo il nuovo schema statico di soletta incastrata alle estremità	65
14.2	Verifica sezioni	68

1 PREMESSA

Il ponte in oggetto definisce lo scavalco del canale Navarolo a Commessaggio (MN), lungo la S.P. – ex S.S. n° 420 intersezione SP 73.

Il ponte risulta caratterizzato da tre campate con tipologia in calcestruzzo armato a sezione variabile. Lo schema statico è definito dalla campata centrale che si dispone a sbalzo verso le spalle creando una sella gerber a raccogliere l'impalcato di riva. Il ponte risulta disposto in retto. Le travi sono del tipo a sezione variabile con altezza pari a $0,55 + 0,15 = 0,70$ m in asse appoggi spalle e pari a $1,05 + 0,20 = 1,25$ m in asse pile e pari a $0,70 + 0,20 = 0,90$ m in asse campata centrale. In corrispondenza della gerber le travi risulta di altezza pari a $0,70 + 0,20 = 0,90$ m. I traversi di spalla sono di spessore 50 a tutta altezza impalcato. I traversi sulle pile, anch'essi a tutta altezza, risultano di spessore 32,5 cm. Il traverso intermedi alla campata centrale risulta di altezza 60 cm e spessore 32,5 cm. In corrispondenza della gerber si ha un traverso di altezza 25 cm e spessore 32,5 per la parte superiore e alto 45 cm e sempre spessore 32,5 per la parte inferiore della gerber. L'interasse travi risulta pari a 2,475 m. Gli sbalzi esterni hanno un aggetto da asse travi pari a 0,86 m, e spessore sempre pari a 0,20 m.

La lunghezza della campata di bordo da asse spalla a asse pila risulta pari a 8,95 m mentre quella centrale tra gli assi pile è pari a 11,80 per una lunghezza totale pari a 29,70 m.

La sezione d'impalcato risulta ribassata rispetto al piano stradale di 20 cm.

I bordi stradali sono protetti solo da due parapetti in cls e quindi la carreggiata si discosta dal bordo esterno di circa 0,70 m. In tal modo la carreggiata stradale risulta larga circa 7,75 m. La larghezza totale risulta pari a 9,15 m.

L'analisi storica ha permesso di recuperare solo disegni di carattere generale per cui si è reso necessario eseguire un rilievo di dettaglio con scan laser. Si sono poi sviluppate delle verifiche puntuali sulle caratteristiche dei calcestruzzi per mezzo di prove sclerometriche ed infine si è appurato come gli acciai debbano essere caratteristici di un acciaio Aq42 caratteristico del periodo di costruzione (ante 1935). Tutto ciò ha permesso di modellare il ponte e definire le sollecitazioni agenti per effetto di peso proprio e sovraccarichi stradali attuali. Gli aspetti di verifica degli elementi metallici sono stati svolti prendendo analogia con le altre opere realizzate nello stesso periodo sui ponti dello stesso consorzio che manifestano geometrie analoghe. E' però evidente come la puntuale verifica potrà essere svolta solo all'atto delle idrodemolizioni che permetteranno di confermare o meno tale ipotesi. In tal senso allo stato attuale si sono previsti, a computo, interventi di ripristino tramite posa di elementi in fibra di carbonio a garanzia degli effetti flettenti e taglianti e al contempo a garanzia della copertura economica delle necessità.

La soletta viene quindi ringrossata con un sovrasspessore di ulteriori 20 cm, in calcestruzzo strutturale alleggerito LC 30/33. Inoltre in corrispondenza delle selle gerber la sezione viene continuizzata tramite detto ringrosso di soletta.

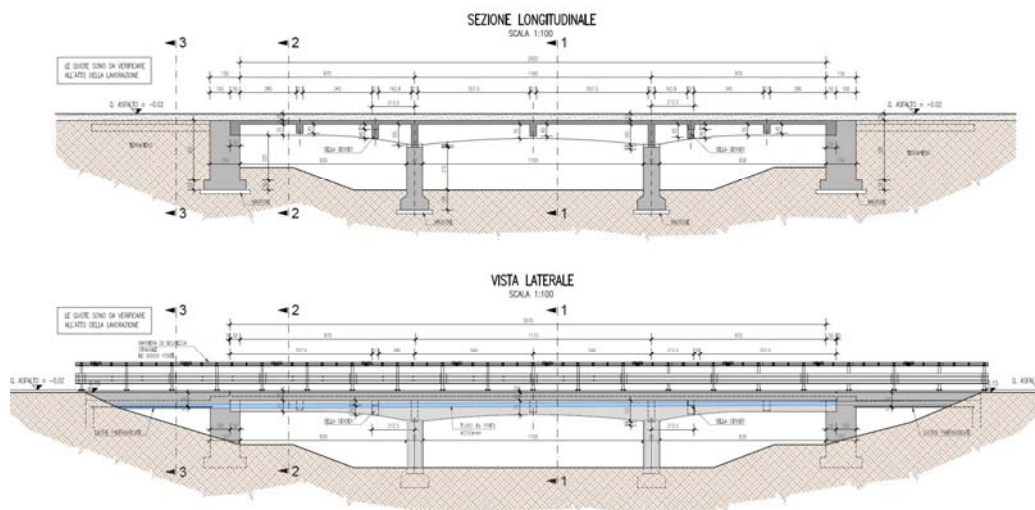


Figura 1.1 : Sezione longitudinale

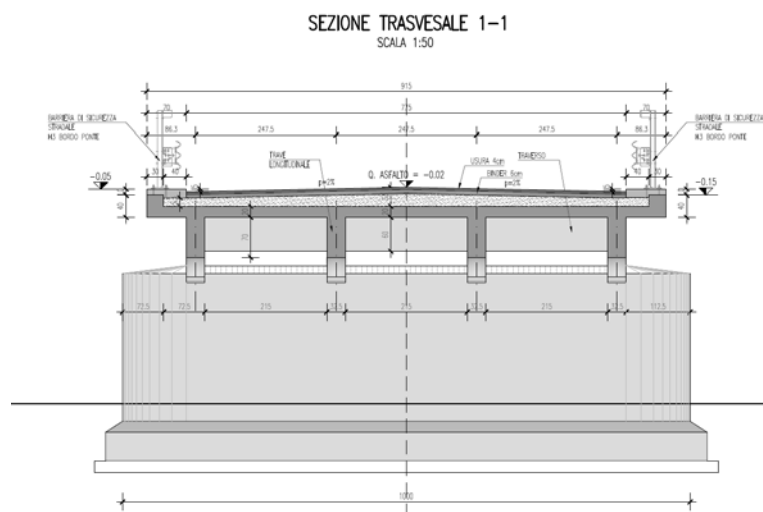


Figura 1.2 : Sezione trasversale

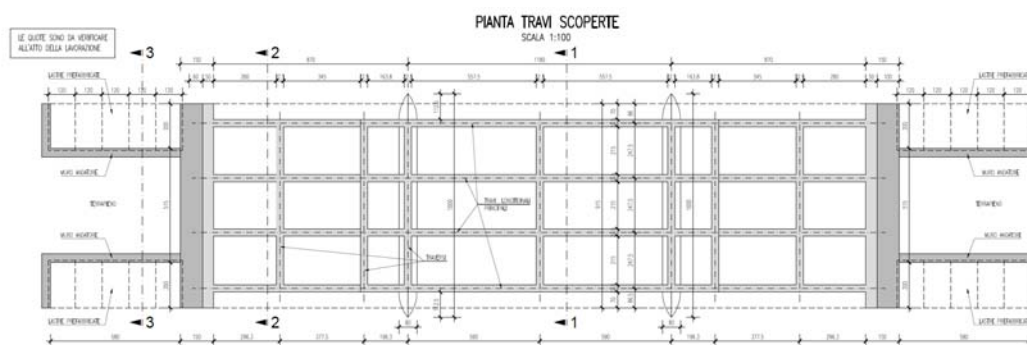


Figura 1.3 : Pianta a travi scoperte

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a
intersezione SP 73 in comune di Comessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Le caratteristiche principali del ponte sono le seguenti:

lunghezza ponte	8,95 + 11,80 + 8,95 m
luce di calcolo campata di riva	6,99 m
luce in asse pila	11,75 m
sbalzo cantilever	2,01 m
larghezza giunto di dilatazione	0,04 m
larghezza impalcato	9,15 m
spessore soletta	0,20 m
altezza massima trave	1,05 m
altezza minima trave	0,50 m
interasse travi	2,475 m
larghezza sbalzo	0,86 m
numero traversi in campata centrale	1
numero traversi in campate di bordo	2
spessore traversi in campata	0,325 m
spessore traversi di appoggio	0,50 m
altezza pile (stimata)	2,35 m
spessore pile	0,80 m
larghezza longitudinale fusti pile	10,00 m
larghezza longitudinale fondazione pile	10,40 m
larghezza spalla	1,50 m
altezza delle spalle (stimata)	2,15 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, posa di fibra di carbonio in intradosso travi (flessione) e bordo travi (taglio);
2. protezione dei calcestruzzi agli agenti chimici (vernice anticarbonatazione);
3. Ricostruzione dei cordoli di bordo ponte;
4. Rifacimento dell'impermeabilizzazione;
5. Rifacimento della pavimentazione bituminosa;
6. Rimozione dei parapetti esistenti e sostituzione con sicurvia;
7. 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 massiciata 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 (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 (350-500gr/mq)

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 sicurvia

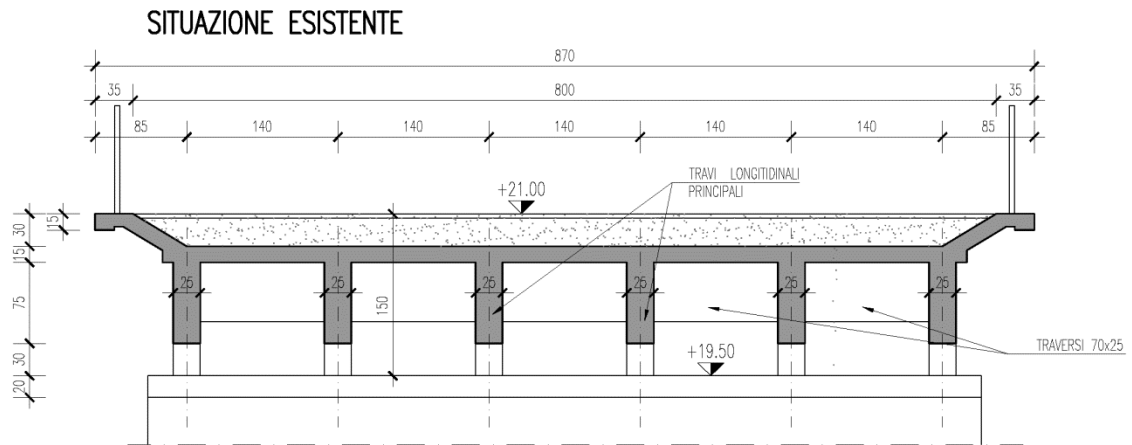


Figura 2.1 : Lo stato attuale

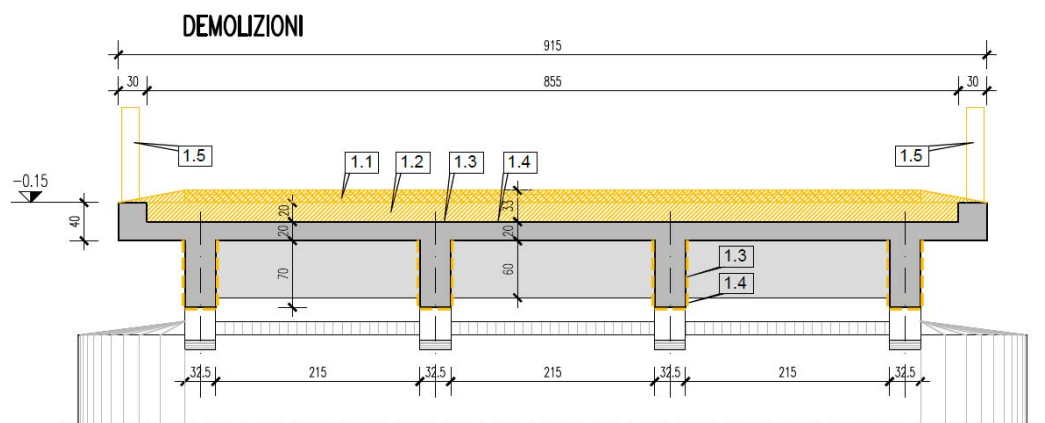


Figura 2.2 : Ila fase di demolizione

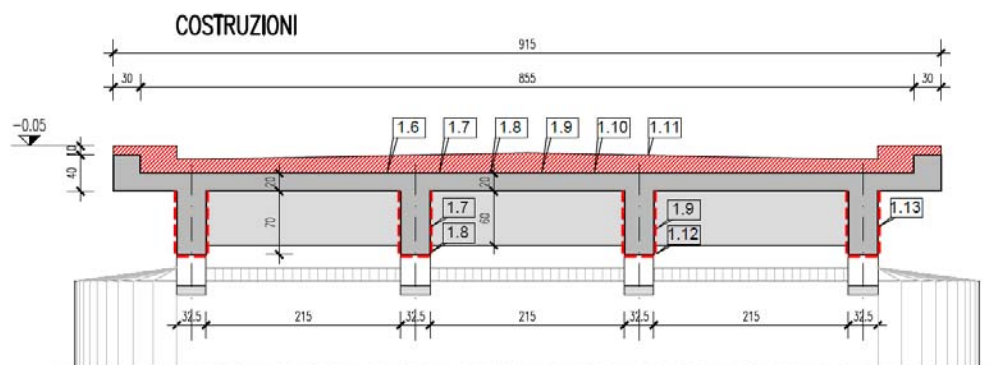


Figura 2.3 : Interventi in estradosso soletta

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a
intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

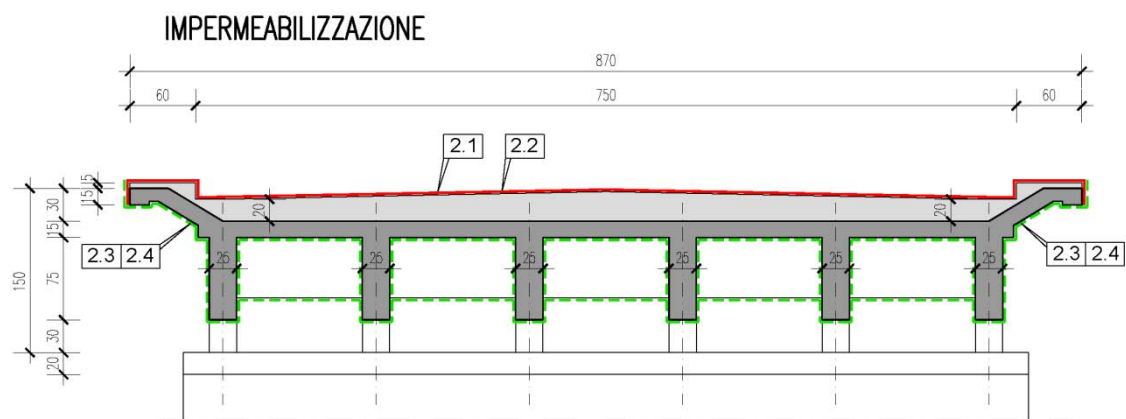


Figura 2.4 : Interventi in intradosso soletta

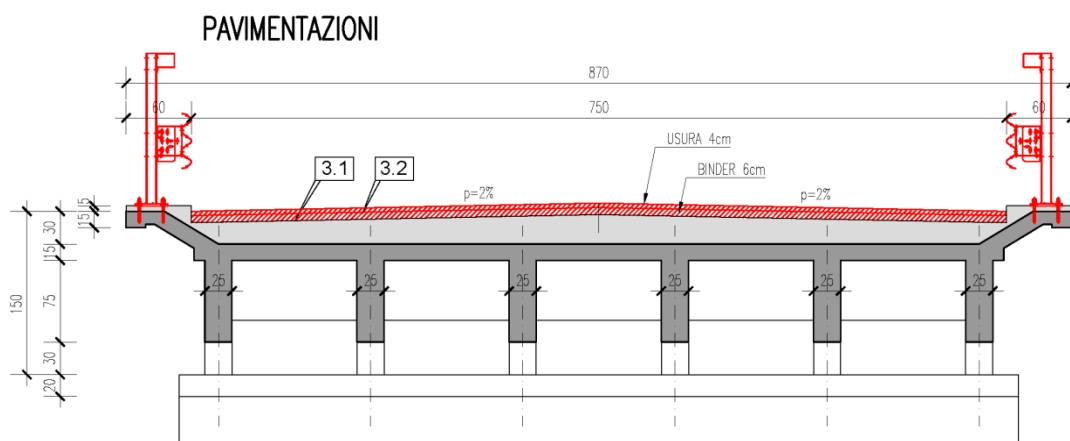


Figura 2.5 : Le opere di finitura

2.2 LE PILE E SPALLE

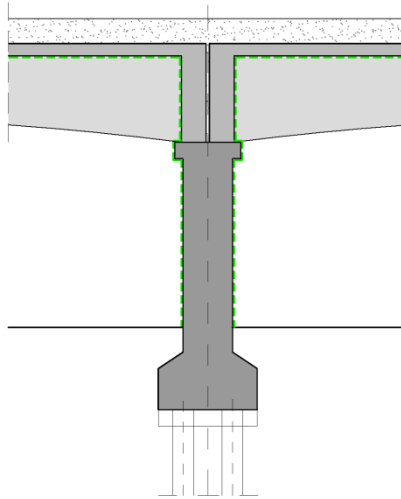


Figura 2.5: Il consolidamento delle pile

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/m^2 .

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
2. *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
3. Legge n.64 del 2.2.1974
4. *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.* G.U. n.76 del 21.3.1974
5. Decreto Ministero delle Infrastrutture del 17.01.2018
6. *Norme tecniche per le costruzioni.* G.U. n.429 del 20.02.2008
7. 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

8. 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.
9. *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

10. CNR-DT 207 R1/2008 del 17.01.2008
Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

Norme europee

11. UNI-EN 1991-2:2004 Eurocodice 1
Azioni sulle strutture – Parte 2: carichi da traffico sui ponti.
12. UNI-EN 1994-2:2006 Eurocodice 4 (gennaio 2006)
Progettazione delle strutture in acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.

13. UNI-EN 1998-2:2025 Eurocodice 8
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti.

4 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Non è stata recuperata alcuna documentazione storica se non appurare che l'intero impianto di costruzione dei ponti sul canale Navarolo e Sabbioncelli risale agli anni 1935 – 1936.

In ugual modo sembra comprendere come le tipologie dei ponti sia in termini di materiali, acciai e calcestruzzi, sia in termini di geometrie siano del tutto analoghi.

In tal senso quindi è stato svolto un rilievo di dettaglio a definizione delle parti in vista delle strutture, a meno cioè delle opere di fondazione e dell'esatta altezza di spalle e pile, e definitoi in tal senso un fattore di confidenza $FC = 1,20$.

La lettura degli elaborati degli altri ponti costruiti nello stesso periodo evidenzia le caratteristiche dell'acciaio come "ferro dolce omogeneo" attribuibile per le norme di allora ad un acciaio dolce.

Sempre in analogia con le altre opere sembra che l'acciaio principale resistente alle flessioni sia di diametro $\varnothing 28$.

Per quanto riguarda il calcestruzzo anche qui si fa riferimento alla lettura dei documenti contabili degli altri ponti che riportano caratteristiche di 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 $\varnothing 28$. 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 del rilievo svolto a scan laser;
- 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. Peraltro una puntuale visione del grado di corrosione e soprattutto del numero di ferri presenti potrà essere svolta solo all'atto delle idrodemolizioni.



Figura 4.1: L'immagine del rilievo scan laser

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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 dagli elaborati degli altri ponti considerabili "analoghi"). Non si è ritenuto necessario eseguire 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 Aq42 come definiti dai documenti contabili degli altri ponti analoghi. 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 $FC = 1,20$. 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 inserite in computo, previsioni generalizzate di interventi in fibra di carbonio così da contenere, per gli aspetti economici, eventuali ammaloramenti, presenza di scarsa armatura e/o incipienti fenomeni di corrosioni da verificare all'atto delle idrodemolizioni e che possono richiedere interventi di ripristino della capacità flessionale o tagliente. Tale situazione sarà poi contabilizzata solo laddove effettivamente necessaria.

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

In base alla documentazione recuperata, ai rilievi geometrici svolti e alle risultanze delle ispezioni eseguite in loco, è stato possibile definire:

- la geometria delle sezioni resistenti;
- 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 e successivamente confermate 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 ciò si considera:

- 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

$$(A_{gt})_k \geq 20\%$$

Tutto viene poi massimizzato considerando un fattore di confidenza $FC = 1,20$.

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 Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

- Geometria: nota in base ai rilievi svolti. 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: ricostruiti dall'indagine visiva e topografica a meno delle conoscenze delle armature presenti nelle diverse sezioni.
- Proprietà dei materiali: le informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono desunti per analogia con altre opere. 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 LC2, pertanto il fattore di confidenza utilizzato nelle analisi e misure di sicurezza è $FC=1,20$.

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 in situ</i>	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate in situ</i>	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 in situ</i> ; in alternativa <i>indagini estese in situ</i>	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate in situ</i> ; in alternativa da <i>prove estese in situ</i>	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate in situ</i> ; in alternativa <i>indagini esaustive in situ</i>	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese in situ</i> ; in alternativa da <i>prove esaustive in situ</i>	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 – 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

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 Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
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+10mm = 50mm |

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)
- Software di verifica sezioni rinforzate con fibra di carbonio – MAPEI (D.I.S.T. Università di Napoli “Federico II”)

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 Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
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 Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
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	Permanenti	Spinta terre, acqua	Distorsioni	Ritiro	Temperatura	Cedimenti	Sovr. Tandem	Sovr. distribuito	Folla marciapiedi	Frenata	Centrifuga	Vento	Neve	Sisma	Resistenze vincoli	Urti svio	Altre azioni
		NOTA	schema1																	
			g ₁	g ₂	g ₃	ε ₁	ε ₂	ε ₃	ε ₄	Q _{ik}	q _{ik}	q ₃	q ₄	q ₅	q ₅	q ₆	q ₇	q ₈	q ₉	
PONTE SCARICO		PONTE SCARICO (vento + Δt) SLU	U01	A1 - STR	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
		PONTE SCARICO (Δt + vento) SLU	U02	A1 - STR	1,35	1,35	1,00	1,20	1,20	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
		PONTE SCARICO (vento + Δt) SLE rara	F01	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
		PONTE SCARICO (vento + Δt) SLE frequente	F03	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
PONTE CARICO		PONTE SCARICO (Δt) SLE frequente	F04	A1 - STR	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
		PONTE SCARICO (Δt) SLE quas i permanente	F05	A1 - STR	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	1,00	0,00	0,00
		PONTE SCARICO (Δt) SISMA	S01	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
		PONTE CARICO (gruppo 1 + vento + Δt) SLU	U03	A1 - STR	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	1,35	1,35	0,68	0,00	0,90	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
		PONTE CARICO (vento + gruppo 1 + Δt) SLU	U04	A1 - STR	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	1,01	0,54	0,68	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
		PONTE CARICO (gruppo 2a + vento + Δt) SLU	U05	A1 - STR	1,35	1,35	1,00	1,20	0,72	1,20	1,01	0,54	0,00	1,35	0,90	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
		PONTE CARICO (gruppo 1 + vento + Δt) SLE rara	F06	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	1,00	0,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
		PONTE CARICO (gruppo 1 + vento + Δt) SLE frequente	F07	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,75	0,40	0,50	0,00	0,20	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
		PONTE CARICO (gruppo 1 + Δt) SISMA	S02	A1 - STR	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00

10.7:

Combinazioni di carico utilizzate

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

11 ANALISI DEI CARICHI

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

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 (appoggi spalle): $25 \times 0,325 \times 0,55$ 4,47 kN/m
- peso carpenteria travi sezioni in mezzeria campata centrale: $25 \times 0,325 \times 0,70$ 5,69 kN/m
- peso carpenteria travi sezioni massima (appoggi pile): $25 \times 0,325 \times 1,05$ 8,53 kN/m
- peso traversi di appoggio spalle: $25 \times 0,50 \times 0,50$ 6,25 kN/m
- peso traversi centrale seconda campata: $25 \times 0,325 \times 0,60$ 4,88 kN/m
- peso traversi campate di riva: $25 \times 0,325 \times 0,45$ 3,66 kN/m
- peso soletta tra le travi: $0,20 \times 2,475 \times 25$ 12,38 kN/m

FASE II (carichi permanenti portati originari):

- pavimentazione bituminosa (sp 10 cm): $0,10 \times 22,0$ 2,20 kN/m²
- massicciata (sp 20 cm assunto un peso specifico di cls): $0,20 \times 25$ 5,00 kN/m²
- 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 (modifica spessore soletta e rimozione fondazione stradale in misto granulare stabilizzato):

- peso soletta tra le travi: $0,20 \times 2,475 \times 25 + 0,20 \times 2,475 \times 17$ 20,79 kN/m

FASE II (carichi permanenti portati originari):

- pavimentazione bituminosa (spessore medio 0,14 cm): $0,14 \times 22$ 3,08 kN/m²
- sicurvia 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 1^a 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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a
intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

una specifica norma che definiva il carico stradali. 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 1,75 m

11.2.3 Definizione delle corsie convenzionali

- 1^a colonna di carico

Q_{1k} = mezzo convenzionale da 600 kN a due assi (4 carichi concentrati da 150 kN)

q_{1k} = carico ripartito da 9,00 kN/m² disposto lungo l'asse di una corsia d'ingombro da 3,00m

- 2^a colonna di carico

Q_{1k} = mezzo convenzionale da 400 kN a due assi (4 carichi concentrati da 100 kN)

q_{1k} = carico ripartito da 2,50 kN/m² disposto lungo l'asse di una corsia d'ingombro da 3,00m

- parte rimanente

q_{1k} = carico ripartito da 2,50 kN/m² disposto lungo l'asse di una corsia d'ingombro da 1,75 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 1^a 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:

- $Q_{1k} = 300$ kN
- $q_{1k} = 9,00$ kN/m²

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

- $w_1 = 3,00 \text{ m}$
- $L = 29,70 \text{ m}$

Quindi il valore dell'azione è pari a:

$$q_3 = 0,6 \times (2 \times 300) + 0,10 \times 9,00 \times 3,00 \times 29,70 = 440,19 \text{ kN}$$

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

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)

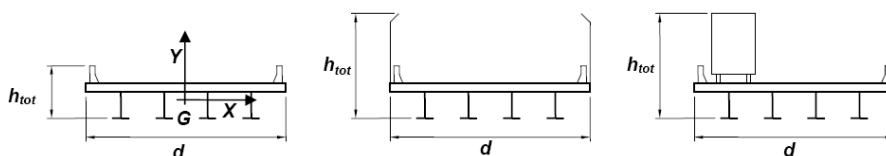


Figura 10.1 : Schema azioni vento ponte

Coefficiente aerodinamico	Indicazioni	Dimensione di riferimento
$c_{fx} = \begin{cases} 2,0 & 0,1 \leq d/h_{tot} < 0,2 \\ 1,65 \cdot \log_{10}(d/h_{tot}) + 3,15 & 0,2 \leq d/h_{tot} < 0,7 \\ -1,64 \cdot \log_{10}(d/h_{tot}) + 2,15 & 0,7 \leq d/h_{tot} < 2 \\ \frac{1,85}{d/h_{tot}} - 0,10 & 2 \leq d/h_{tot} \leq 5 \\ \frac{1,35}{d/h_{tot}} & d/h_{tot} > 5 \end{cases}$	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

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 $c_r = 0,65 \cdot \left\{ 1 - 0,138 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right] \right\} = 1,06$

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Velocità di riferimento di progetto $v_r = v_b \cdot c_r = 25,0 \times 1,06 = 26,57 \text{ m/s}$

Dati geometrici:

Altezza media trave $h_{trave} = 0,80 \text{ m}$

Spessore soletta $s_{soletta} = 0,20 \text{ m}$

Spessore marciapiede $s_{mar.} = 0,30 \text{ m}$

Spessore pavimentazione $s_{pav.} = 0,10 \text{ m}$

Altezza carico stradale $h_{carico} = 3,00 \text{ m}$

Altezza suolo-centro impalcato $z = 3,00 \text{ m}$

Larghezza impalcato $d = 9,15 \text{ m}$

11.5.3 Ponte scarico

Nel caso di ponte scarico si ottengono i seguenti valori:

Altezza investita $h_{tot} = h_{trave} + h_{soletta} + h_{mar.} + h_{barriera} = 1,30 \text{ m}$

Quota di riferimento $z_r = z + \frac{h_{tot}}{2} = 3,65 \text{ m}$

Rapporto geometrico $d/h_{tot} = 7,04 \text{ m}$

Coefficiente di esposizione $c_e = k_r^2 \cdot \ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) \cdot c_t \cdot \left[\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) \cdot c_t + 7 \right] = 1,80$

Pressione di picco $q_p = \frac{1}{2} v_r^2 c_e = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 26,57^2 \times 1,80 = 0,79 \text{ kN/m}^2$

Azione finale	Valore	unità
Forza trasversale – F_x	1,39	kN/m
Forza longitudinale – F_y	$\pm 8,72$	kN/m
Momento torcente – M_z	$\pm 13,30$	kNm/m

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

11.5.4 Ponte carico

Nel caso di ponte carico si ottengono i seguenti valori:

Altezza investita $h_{tot} = h_{trave} + h_{soletta} + h_{mar.} + h_{barriera} = 4,10 \text{ m}$

Quota di riferimento $z_r = z + \frac{h_{tot}}{2} = 5,05 \text{ m}$

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Rapporto geometrico

$$d/h_{tot} = 2,23 \text{ m}$$

Coefficiente di esposizione

$$c_e = k_r^2 \cdot \ln\left(\frac{Z_r}{Z_0}\right) \cdot c_t \cdot \left[\ln\left(\frac{Z_r}{Z_0}\right) \cdot c_t + 7 \right] = 1,94$$

Pressione di picco

$$q_p = \frac{1}{2} \cdot v_r^2 \cdot c_e = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 26,57^2 \times 1,94 = 0,85 \text{ kN/m}^2$$

Azione finale	Valore	unità
Forza trasversale – F_x	5,69	kN/m
Forza longitudinale – F_y	$\pm 7,21$	kN/m
Momento torcente – M_z	$\pm 14,29$	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:

$$\Delta l_{\text{impalcato}} = \alpha \Delta T L = 1,00 \times 10^{-5} \times 25 \times 29700/2 = 3,71 \text{ mm}$$

Detta variazione termica risulta agente direttamente sul terrapieno per la mancanza di paraghiaia di spalla, funzione svolta dal traverso di appoggio su spalla.

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 recuperata (di analogia) e le indagini topografiche hanno 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.

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 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 ad un equivalente C20/25.

L'analisi FEM è stata svolta 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.

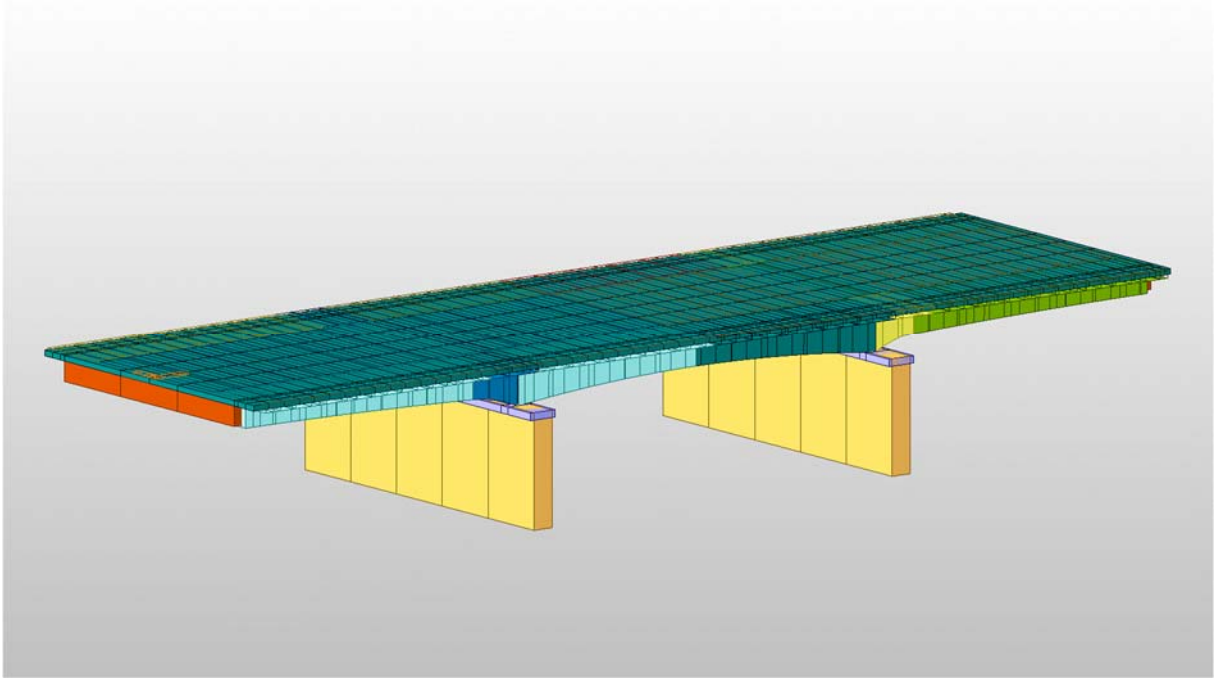


Figure 12.1: La mesh dell'impalcato vista dall'alto

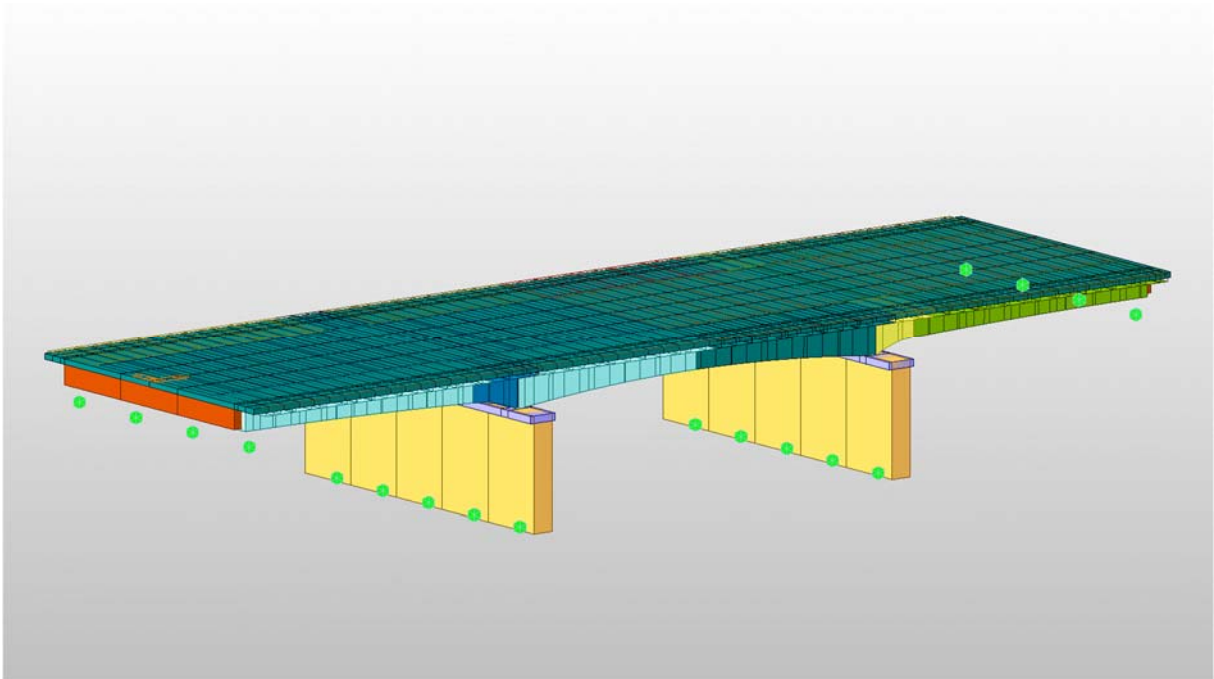


Figure 12.2: I vincoli

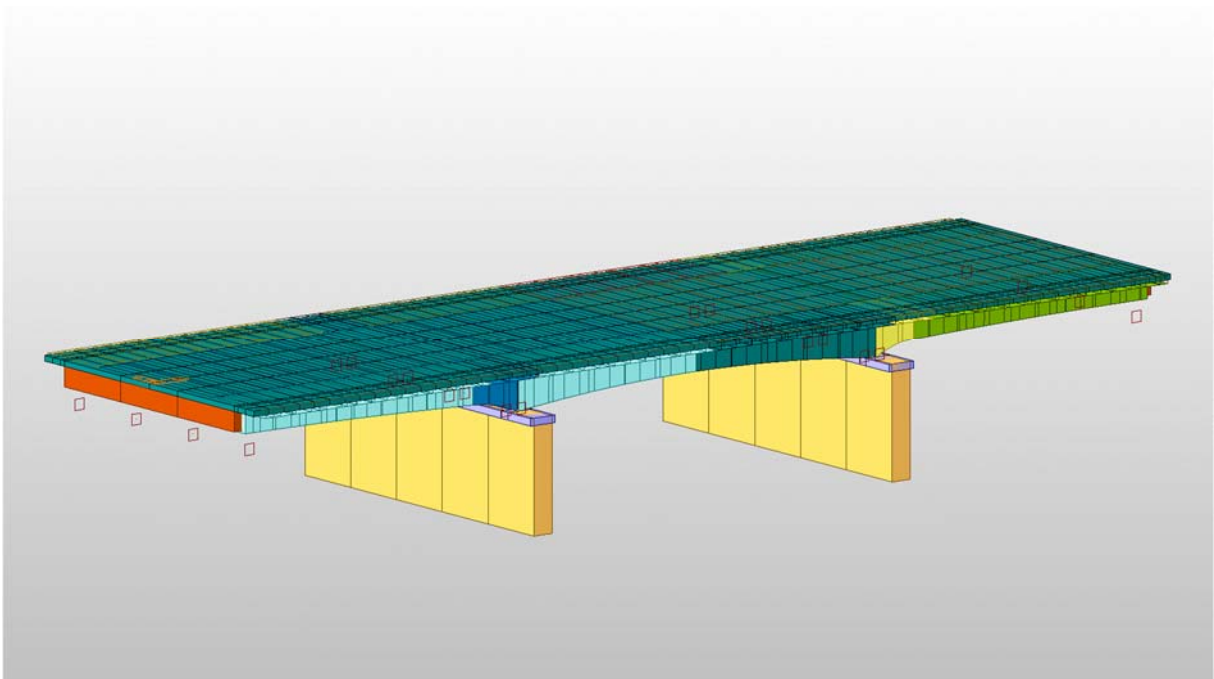


Figure 12.3: Gli appoggi

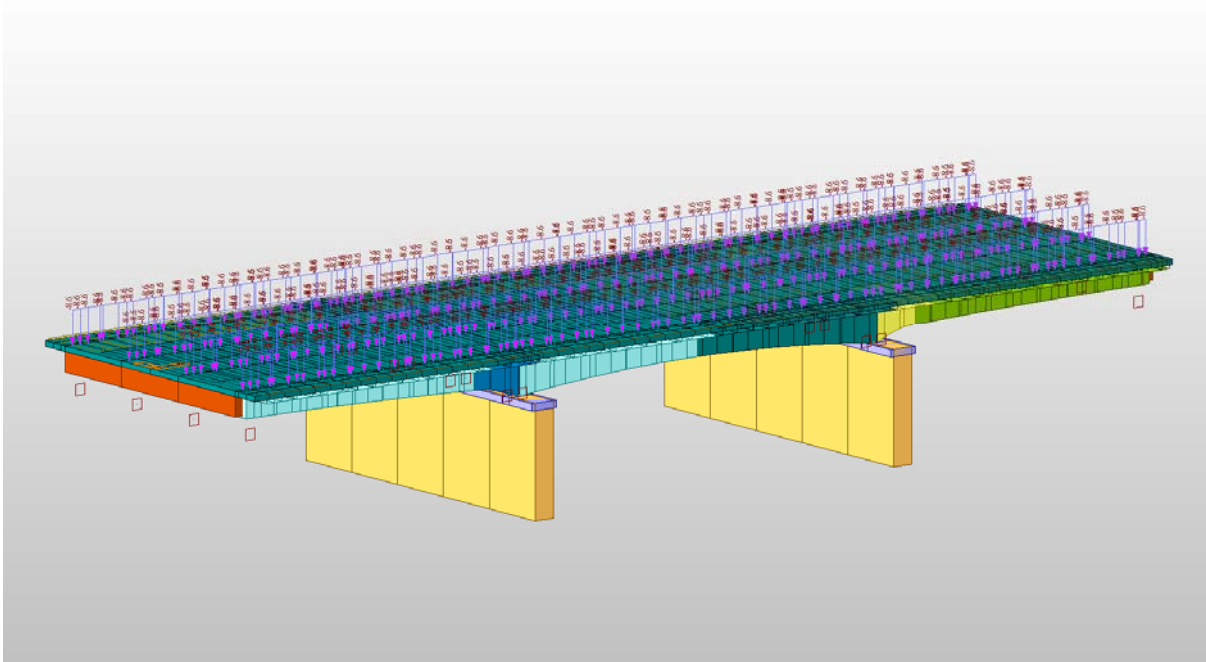


Figure 12.4: Il peso della soletta

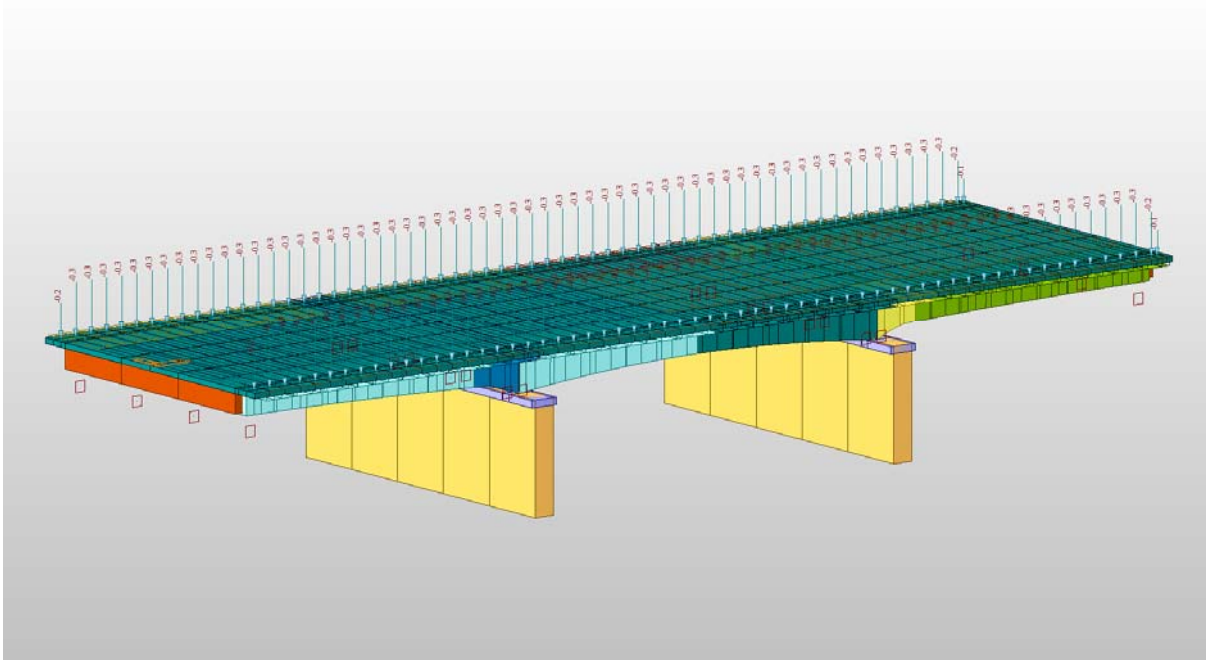


Figure 12.5: Il peso dei parapetti

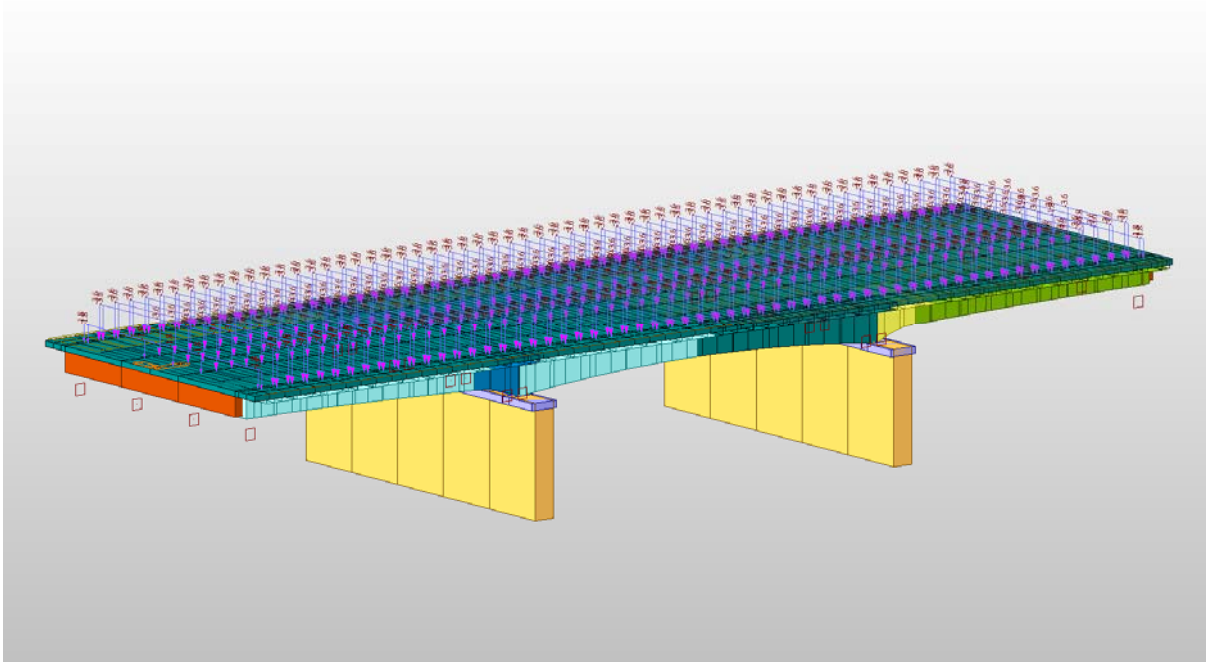


Figure 12.6: Il peso della massicciata e della pavimentazione stradale

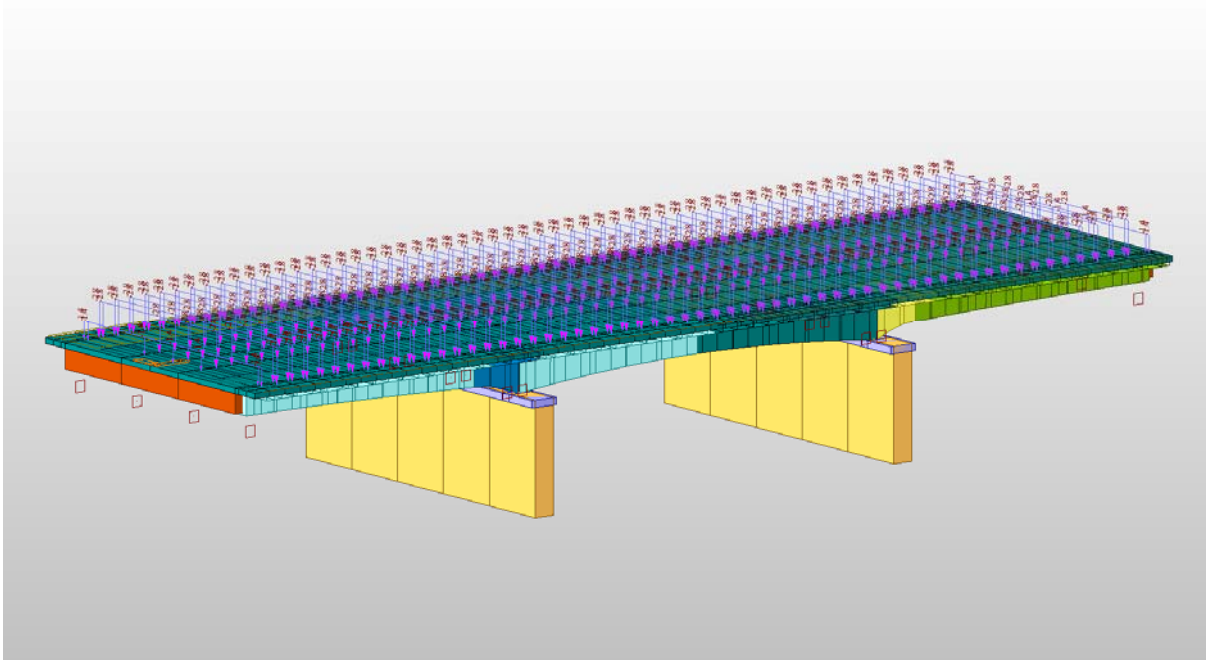


Figure 12.7: Il peso della soletta integrativa e della pavimentazione stradale

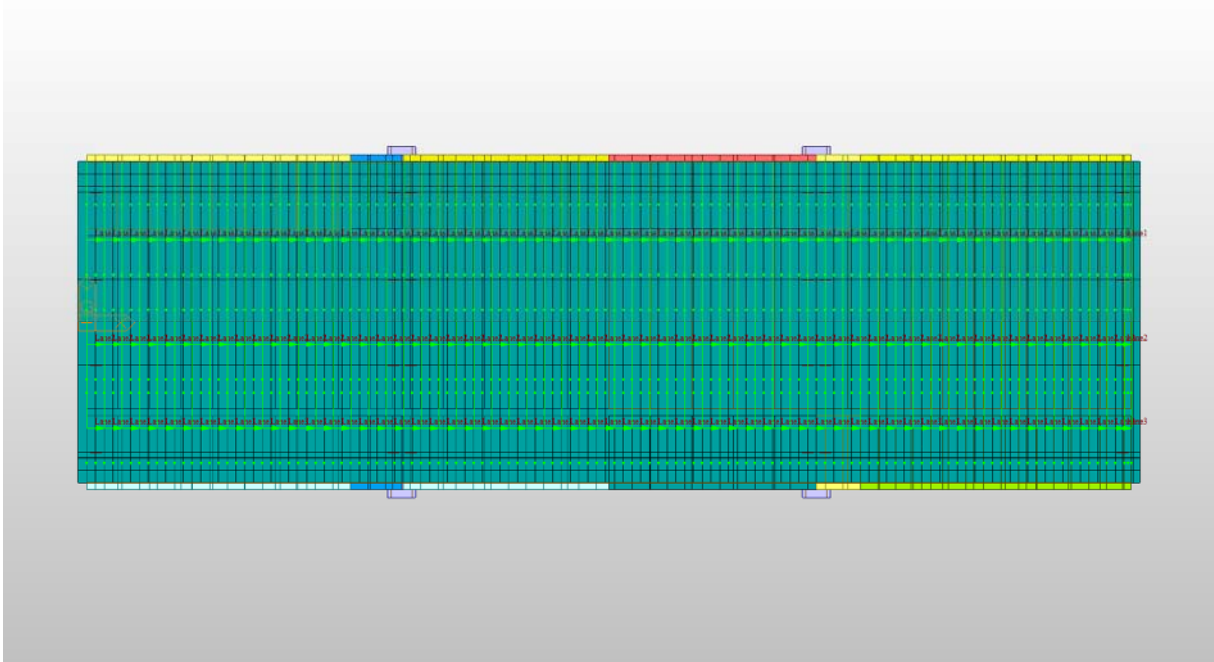


Figure 12.8: Le linee dei carichi mobili

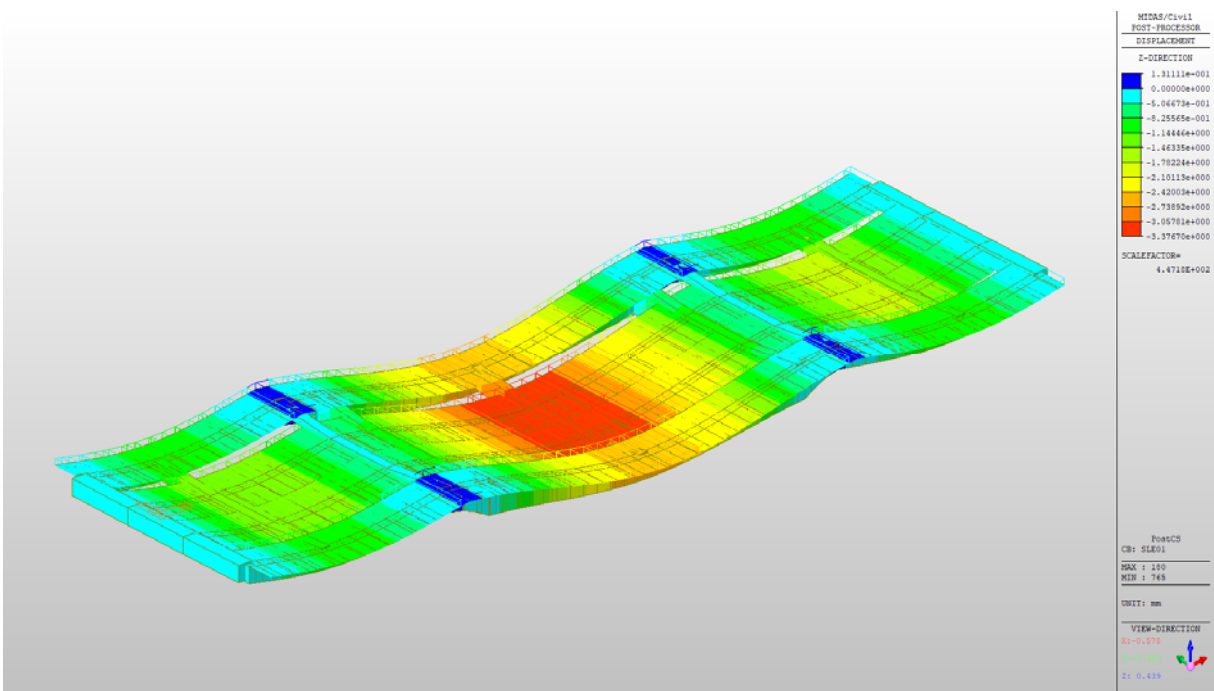


Figure 12.9: La deformata in combinazione quasi permanente

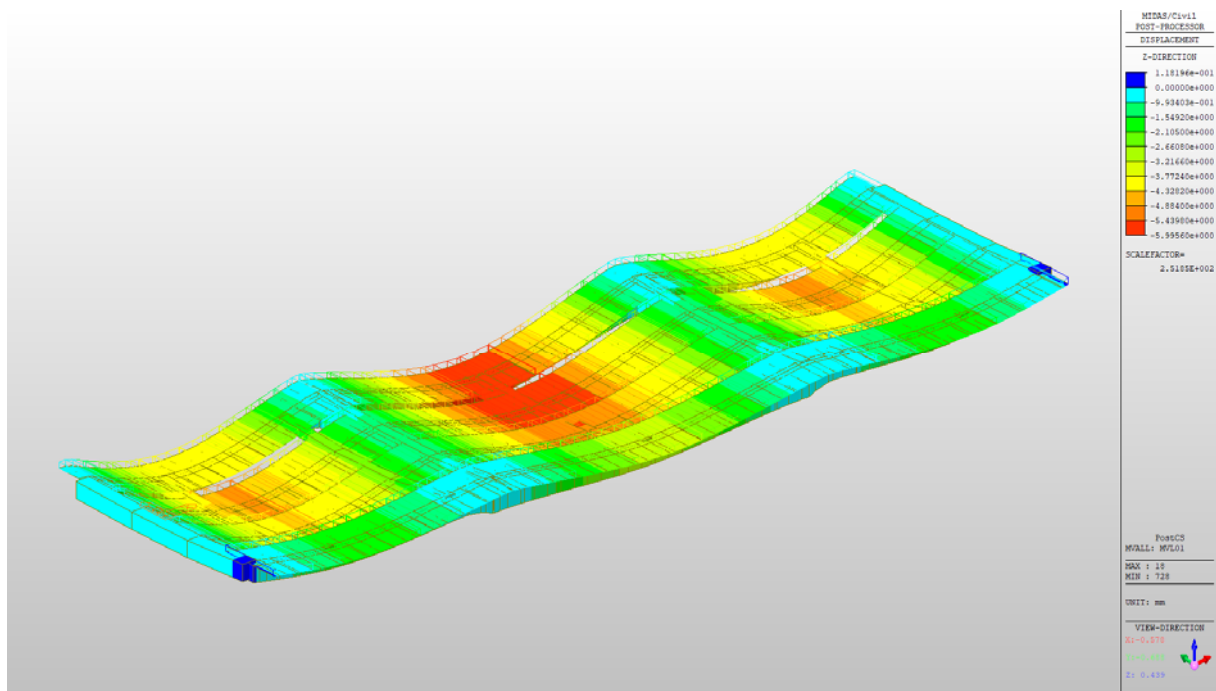


Figure 12.10: La deformata per i carichi mobili

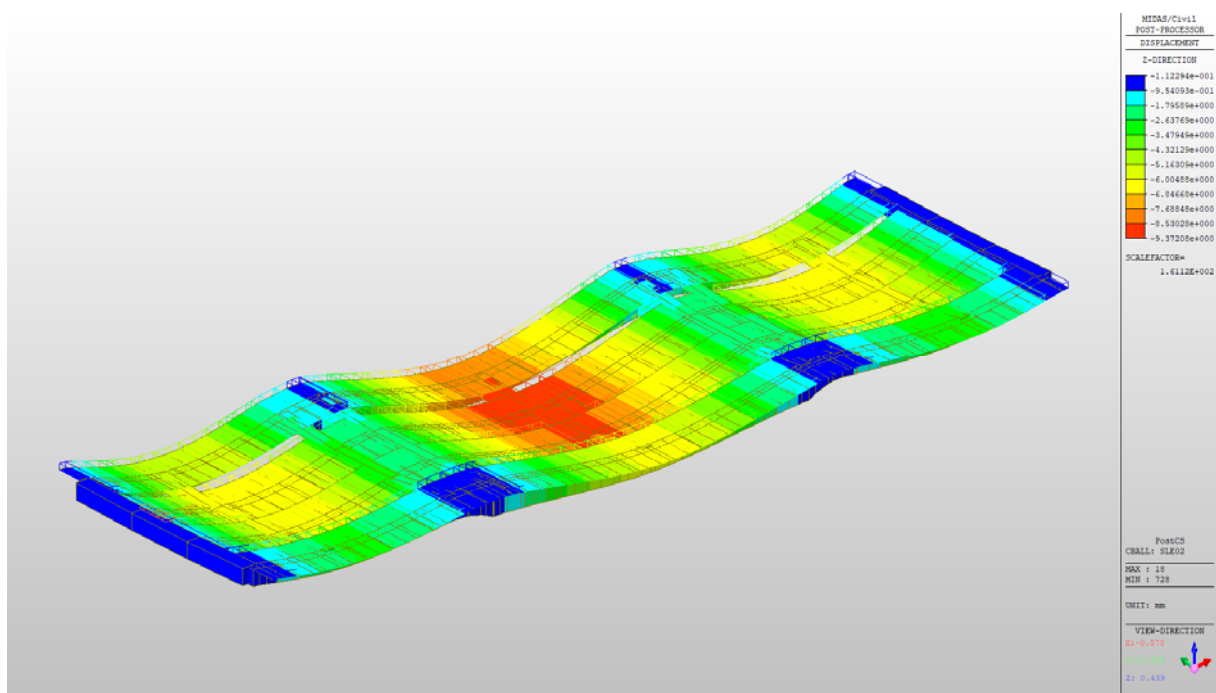


Figure 12.11: La deformata in combinazione rara

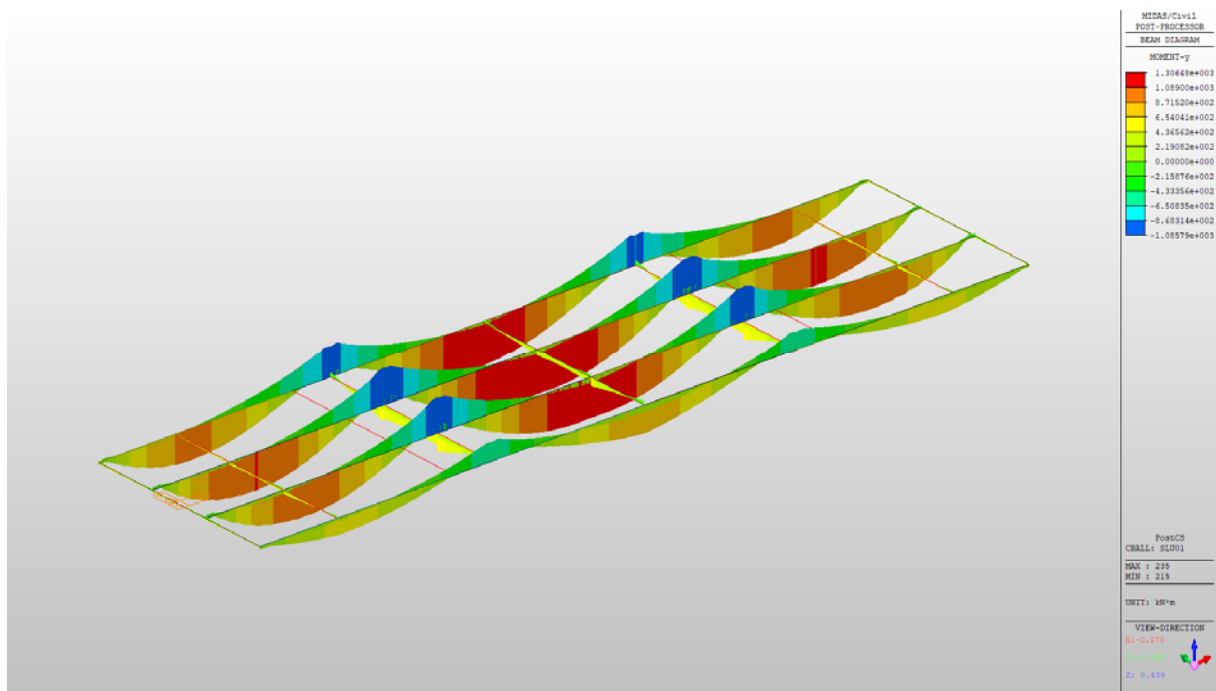


Figure 12.12: Il momento flettente massimo SLU01 in combinazione NTC2018

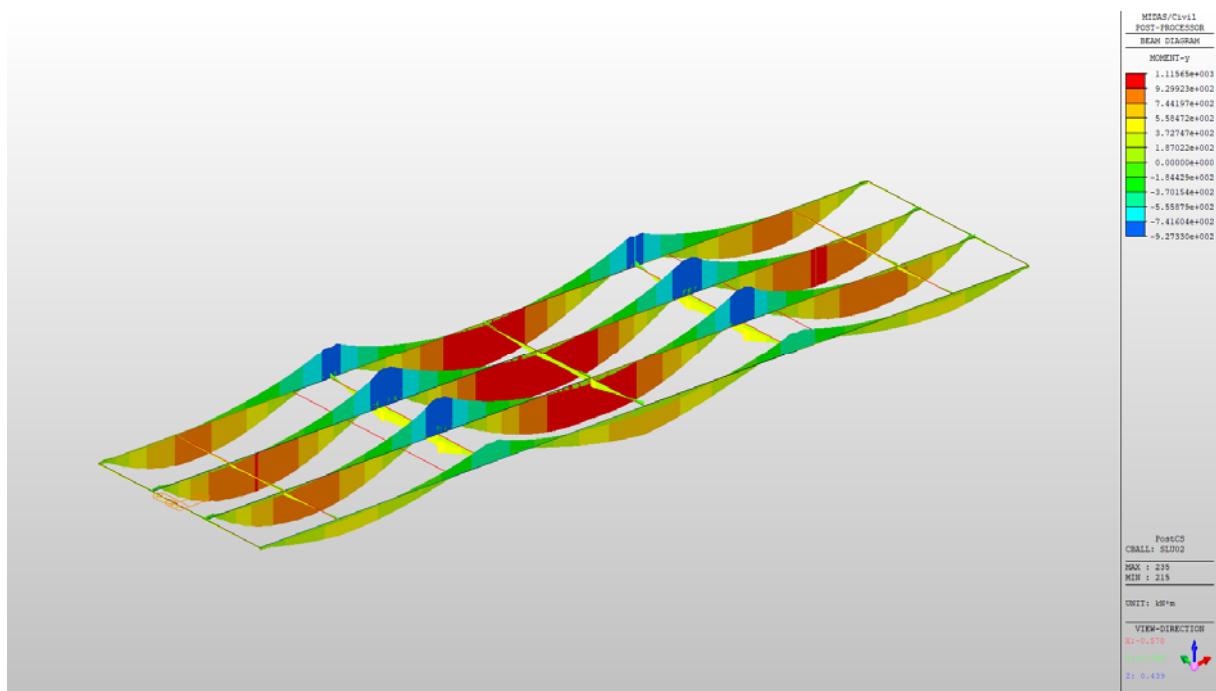


Figure 12.13: Il momento flettente massimo SLU02 in combinazione di operatività

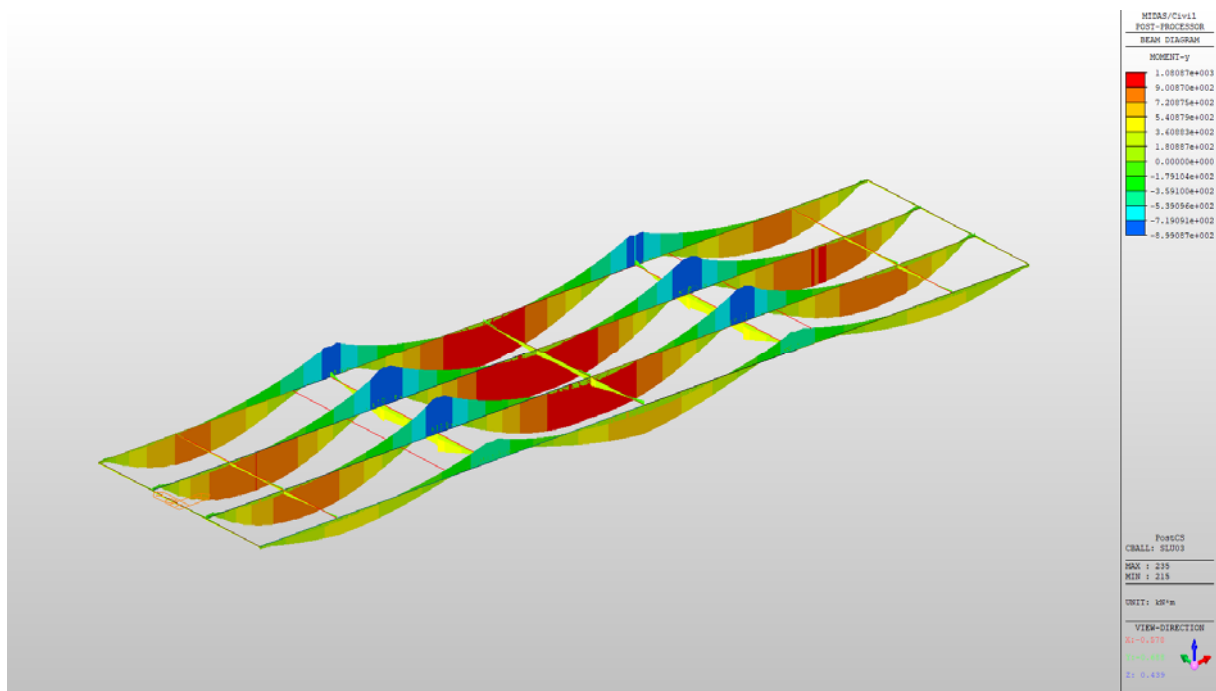


Figure 12.14: Il momento flettente massimo SLU03 in combinazione di transitabilità

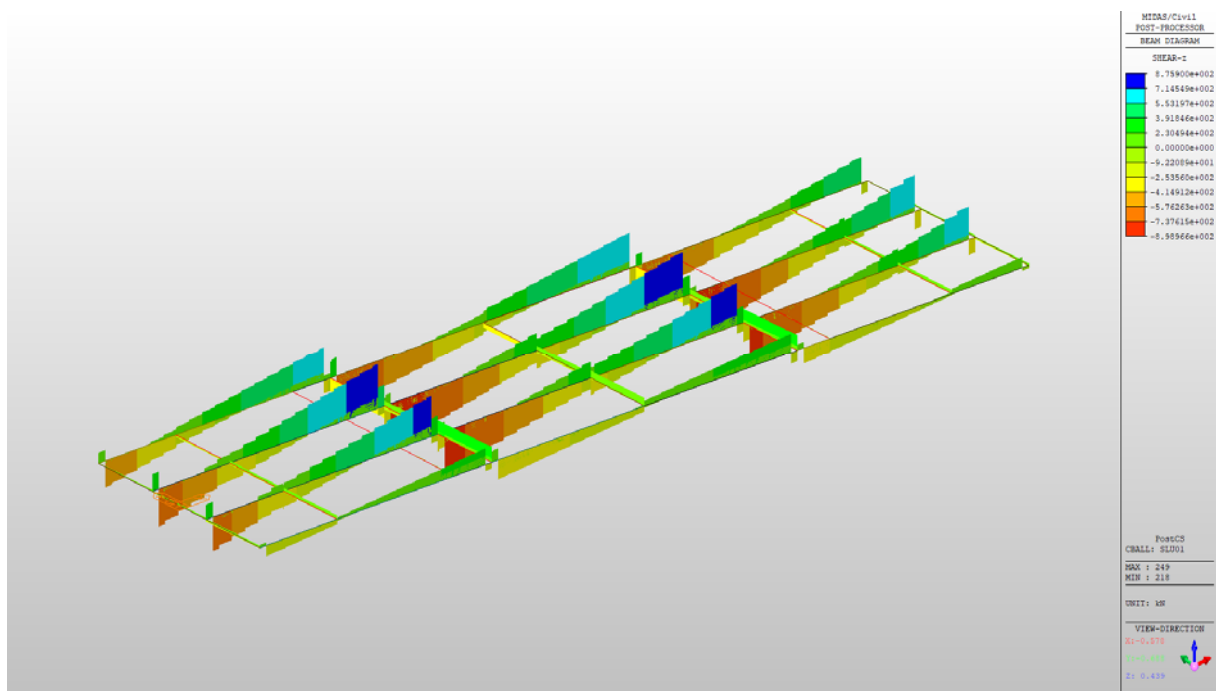


Figure 12.15: Il taglio massimo SLU01 in combinazione NTC2018

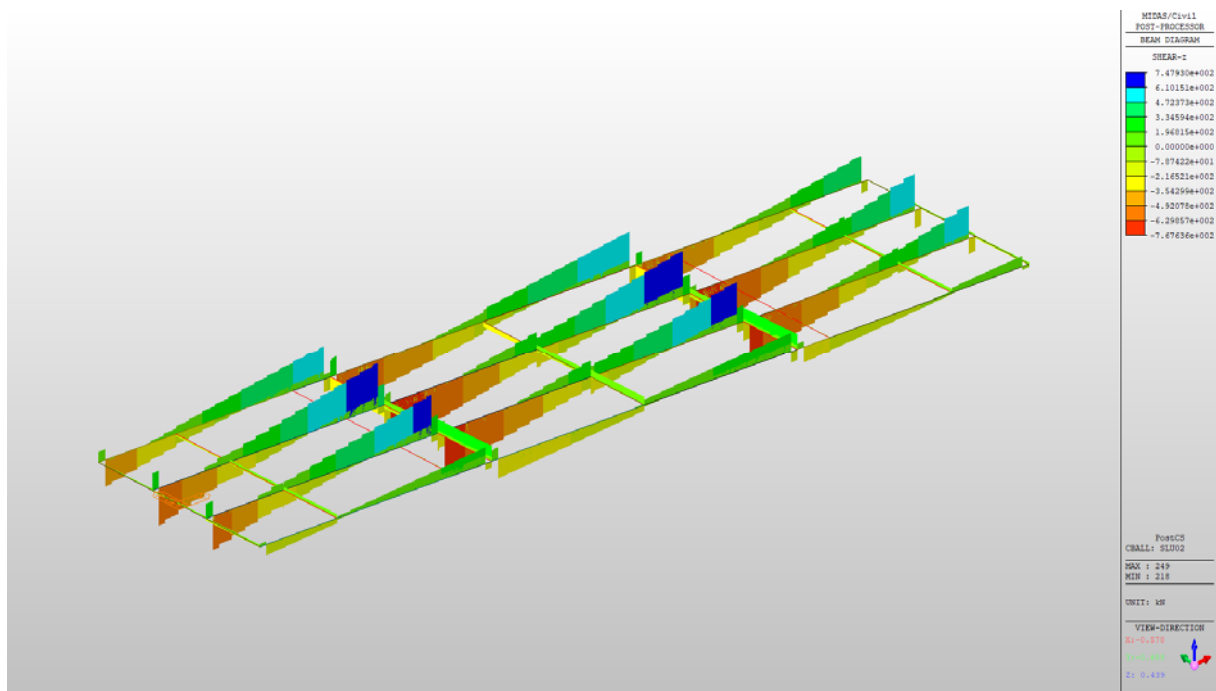


Figure 12.16: Il taglio massimo SLU02 in combinazione di operatività

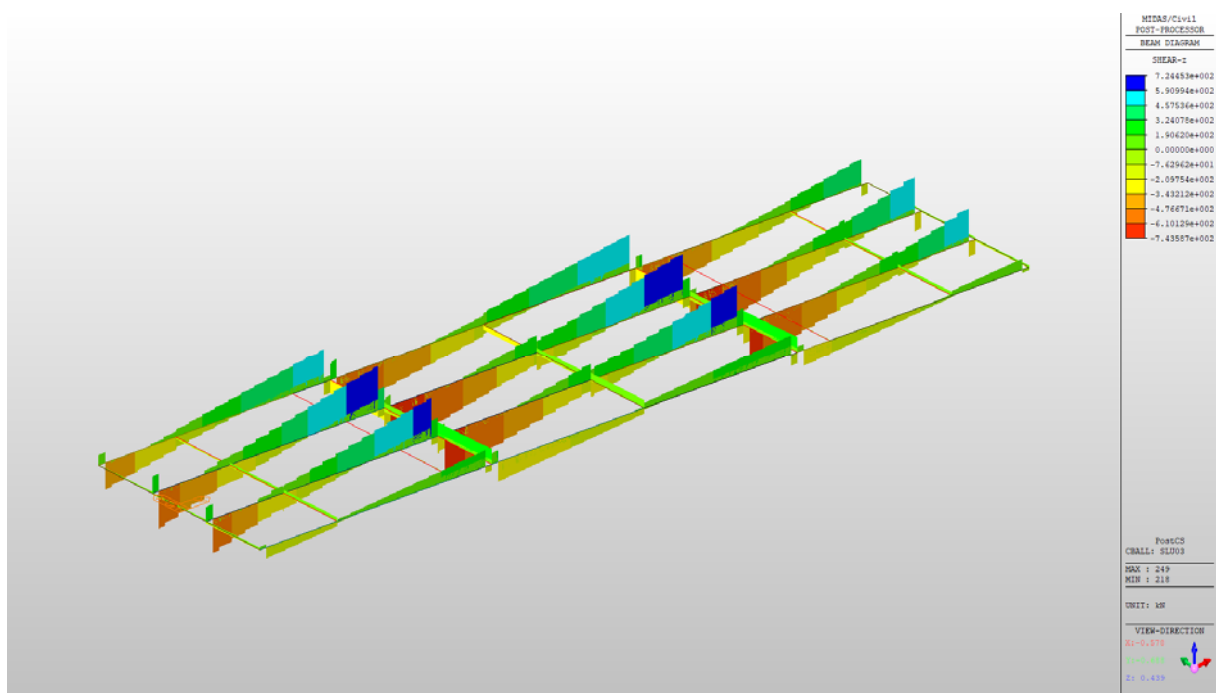


Figure 12.17: Il taglio massimo SLU03 in combinazione di rtransitabilità

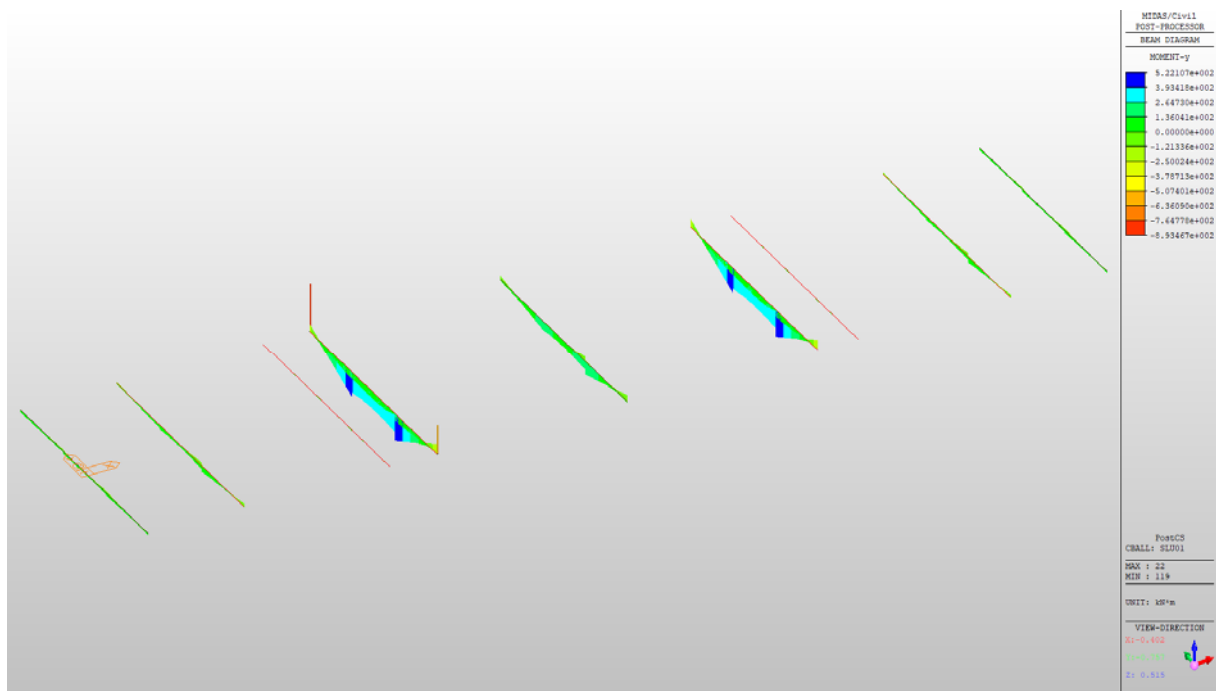


Figure 12.18: Il momento flettente massimo sui traversi SLU01 in combinazione NTC 2018

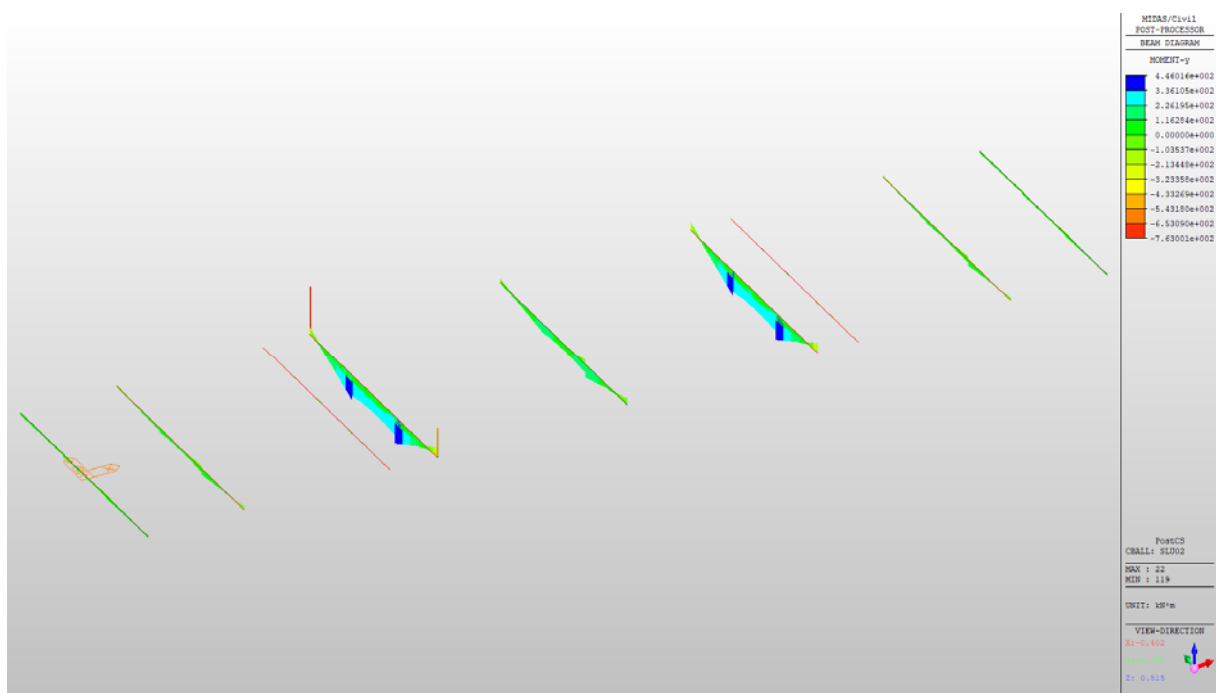


Figure 12.19: Il momento flettente massimo sui traversi SLU02 in combinazione di operatività

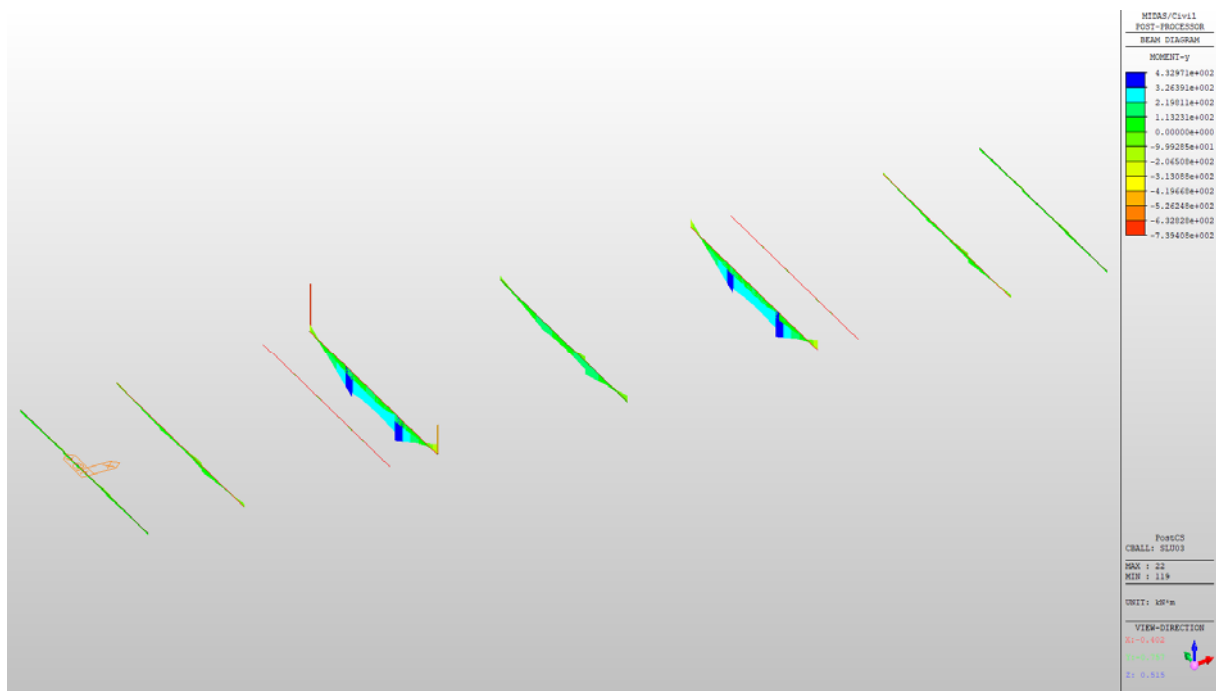


Figure 12.20: Il momento flettente massimo sui traversi SLU02 in combinazione di transitabilità

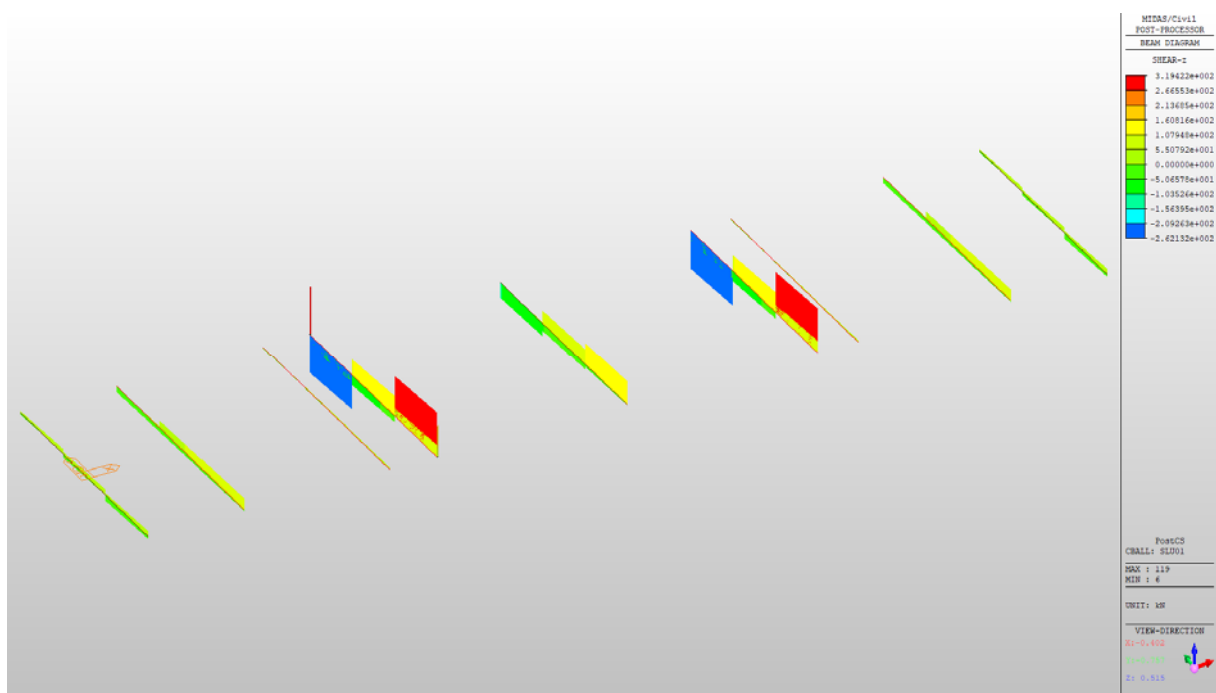


Figure 12.21: Il taglio massimo sui traversi SLU01 in combinazione NTC 2018

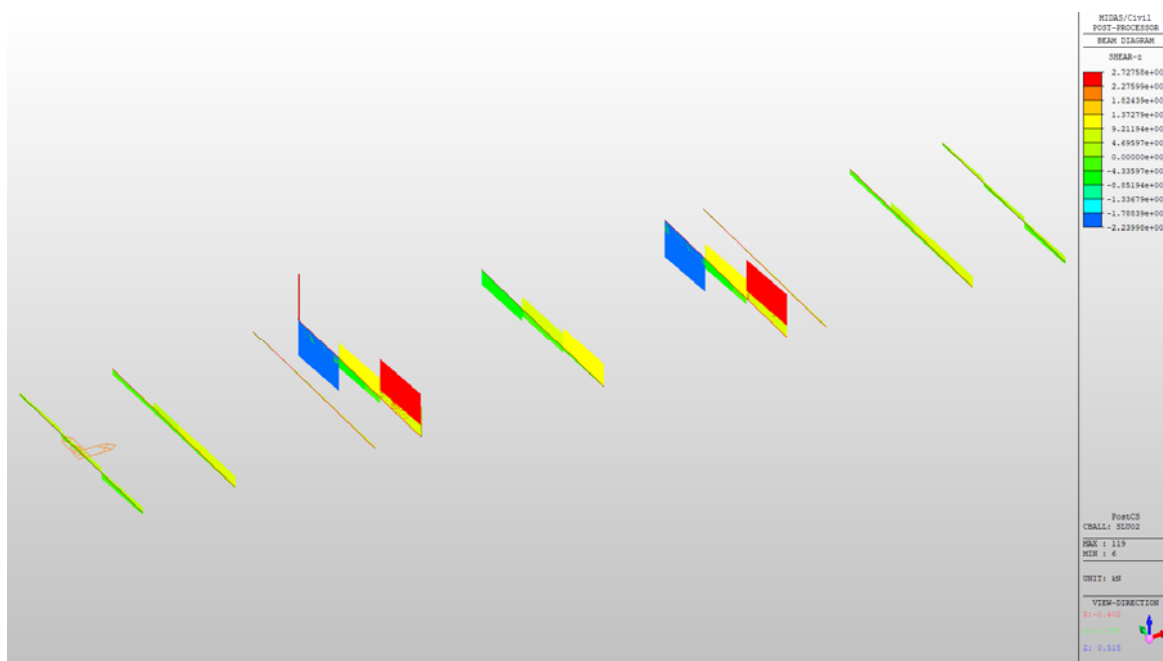


Figure 12.22: Il taglio massimo sui traversi SLU01 in combinazione di operatività

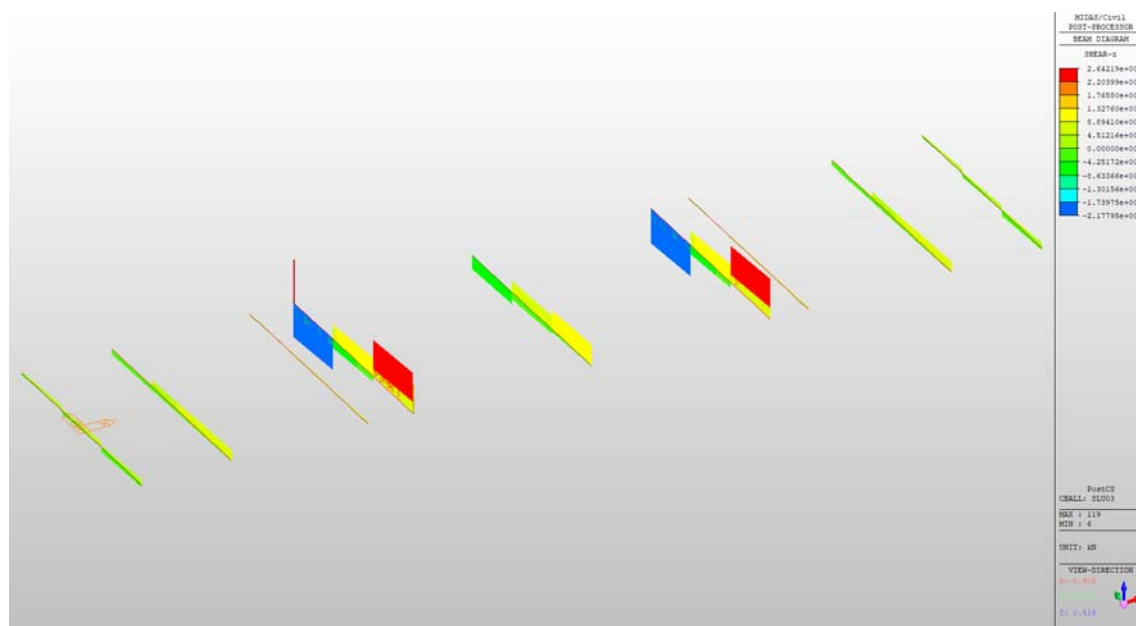


Figure 12.23: Il taglio massimo sui traversi SLU01 in combinazione di transitabilità

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 quindi analizzate sia con riferimento alle risultanze del modello.

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Comessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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 899
- elementi 1175

Le travi principali e i traversi sono definite mediante elementi *beam*. Anche le pile sono definite con elementi *beam*.

13.2 CARATTERISTICHE INERZIALI IMPALCATO

Il ponte è definito da tre campate con tipologia in calcestruzzo armato a sezione variabile. Risulta disposto in retta. Le travi sono del tipo a sezione variabile con altezza pari a $1,05 + 0,20 = 1,25$ m in asse appoggi pile, $0,55 + 0,20 = 0,75$ m in asse appoggi spalle e $0,70 + 0,20 = 0,90$ m in asse impalcato campata centrale. I traversi di spalla risultano di spessore 0,50 m e alti 0,50 m mentre quello di pila risulta a tutta altezza e di spessore 0,325 m. Il traverso intermedio della campata centrale risulta di spessore 0,325 cm e alto 0,60 m mentre quello di campata di bordo risulta di spessore 0,325 m e altezza 0,45 m. Lo schema statico dell'impalcato è definito dalla campata centrale con schema a cantilever con sbalzo verso le spalle di 212 cm a generare una sella gerber di attesa della campata di riva. Tale schema statico esistente vien e poi modificato di fase di intervento di consolidamento solidarizzando la soletta così da ottimizzare la distribuzione dei carichi mobili. La soletta risulta, allo stato attuale, di spessore 0,20 m poi ringrossata con gli interventi di consolidamento a 0,40 m utilizzando calcestruzzo strutturale alleggerito LC 30/33. L'interasse travi risulta pari a 2,475 m. Gli sbalzi esterni risultano pari a 0,865 m, e spessore sempre pari a 20 cm.

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

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.

In tali verifiche si è ipotizzata la presenza al lembo inferiore di un'armatura costituita da 4 Ø 28. Evidentemente tale ipotesi dovrà essere controllata all'atto delle idrodemolizioni. Tale assunzione ha la sola funzione di definire il quantitativo di fibra di carbonio da disporre al lembo inferiore nell'intervento di consolidamento.

Di seguito si riportano le verifiche per la sola condizione di massimo momento flettente positivo nella campata centrale, la massima sollecitata.

Il momento flettente massimo sulle travi risulta pari a $M_{SLU\ NTC2018} = 1836,50\text{ kNm}$

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:	classe 8.8	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	640.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	800.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	556.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	556.00	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	70.0
3	-107.5	70.0
4	-107.5	90.0
5	107.5	90.0
6	107.5	70.0
7	12.5	70.0
8	12.5	0.0

DATI BARRE ISOLATE

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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

2	7.5	4.7	28
3	-7.5	85.0	20
4	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	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	1836.50	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:	2.2 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	1836.50	0.00	0.00	1136.29	0.00	0.62	24.6(6.4)

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	-107.5	90.0	0.00027	-7.5	85.0	-0.05164	-7.5	4.7

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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	0.000646387	-0.054674870	0.063	0.700

Il coefficiente di sicurezza nella sezione di mezzeria risulta pari a **0,62** < 1,00, e quindi la verifica flessionale **non risulta soddisfatta**.

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.

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 $M_{SLU \text{ operatività}} = 1567,75 \text{ kNm}$

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:

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:	classe 8.8	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	640.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	800.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	556.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	556.00	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm²

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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	70.0
3	-107.5	70.0
4	-107.5	90.0
5	107.5	90.0
6	107.5	70.0
7	12.5	70.0
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	85.0	20
4	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	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	1567.75	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: 2.2 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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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	1567.75	0.00	0.00	1136.29	0.00	0.72	24.6(6.4)

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	-107.5	90.0	0.00027	-7.5	85.0	-0.05164	-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	0.000646387	-0.054674870	0.063	0.700

Il coefficiente di sicurezza nella sezione di mezzzeria risulta pari a **0,72** < 1,00, e quindi la verifica flessionale **non risulta soddisfatta**.

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:

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
ACCIAIO -	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Tipo:	classe 8.8	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	640.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	800.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	556.00	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	556.00	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	70.0
3	-107.5	70.0
4	-107.5	90.0
5	107.5	90.0
6	107.5	70.0
7	12.5	70.0
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	85.0	20
4	7.5	85.0	20

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

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	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	1517.00	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:	2.2 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	1517.00	0.00	0.00	1136.29	0.00	0.75	24.6(6.4)

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	-107.5	90.0	0.00027	-7.5	85.0	-0.05164	-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 Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

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	0.000646387	-0.054674870	0.063	0.700

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

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 LA VERIFICA DELLE TRAVI NELLA CONFIGURAZIONE DI RINFORZO SOLETTA

L'intervento di consolidamento precede la rimozione dello strato misto granulare stabilizzato posto al di sopra dell'attuale soletta da 20 cm, previa opportuna idrodemolizione e ripristino delle armature corrose, e quindi la posa di un nuovo strato di calcestruzzo strutturale alleggerito di spessore 20 cm. In tal modo si vanno da un lato a ridurre i pesi sopportati dall'impalcato per la riduzione del peso specifico di 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 in mezzera della campata centrale dagli attuali minimi 90 cm a 110 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 quindi 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.

Avendo adottato una soluzione che prevede il ringrosso della soletta e la posa in intradosso di fibra di carbonio si riporta di seguito la verifica della sezione a massimo momento positivo, dove la fibra porta il contributo favorevole di sovrarresistenza e quindi la verifica della sezione a massimo momento flettente negativo, all'appoggio pila, dove si trascura il contributo della fibra e si affida la resistenza alla sola armatura disposta nella parte di sovrasspessore della soletta.

I valori di massima flessione valgono:

verifica sezione rinforzata con fibra di carbonio

$M_{\max \text{ positivo}} = 1306,40 \text{ kNm}$ (sezione in asse campata centrale $h = 70 + 20 + 20 = 110 \text{ cm}$)

verifica sezione non rinforzata con fibra di carbonio

$M_{\max \text{ negativo}} = 1085,70 \text{ kNm}$ (sezione all'appoggio pila $H = 105 + 20 + 20 = 145 \text{ cm}$)

Di seguito si riportano quindi le verifiche delle due sezioni:

verifica sezione rinforzata con fibra di carbonio

Cliente:	-	Cantiere:	-	Rif. Strutt.:	-
----------	---	-----------	---	---------------	---

Dati Sezione		
Altezza Totale (H)	1000	mm
Altezza soletta (h)	400	mm
Larghezza soletta (L)	2475	mm
Larghezza Anima (b)	325	mm
Area di acciaio in trazione A _s	2465.01	mm ²
Area di acciaio in compressione A _{s'}	2412.74	mm ²
Copri ferro (d ₁ = d ₂)	40	mm
Altezza utile (d)	1060	mm
Altezza Anima (H - h)	600	mm
Area di lamina A _f	105.9	mm ²

Materiali			
	Resistenza		Moduli elastici
	Media	Calcolo	
Calcestruzzo f _{cm} [MPa]	38	38.00	32837
			f _{td} 30.00 MPa
			f _{tdk} 2.90 MPa
Acciaio f _{yk} [MPa]	450	450.0	210000
			ε _{yk} 0.00214
Coeff. di confidenza λ	1.00		

Momento iniziale agente in sezione prima dell'applicazione delle fibre M ₀ [kNm]	398.25
---	--------

Materiale	Tipo di fibra	Esposizione
M ₁₂ /M ₁₃ /M ₁₄ CUR-42/43/44	Carbonia	Esterna

CARATTERISTICHE FRP	
σ caratteristico di rottura	2100 MPa
ε caratteristico di rottura, ε _{rk}	0.008
Modulo elastico	370000 MPa
spessore	0.323 mm
Coefficiente di sicurezza FRP (γ _{f,r})	1.2
Coefficiente del materiale (γ _f)	1.10
Fattore di conversione ambientale (η _f)	0.85
σ calcolo, f _{td}	1913 MPa

Larghezza rinforzo (b _f)	320 mm
N° strati rinforzo (n)	1
Coefficiente per condizione di carico	Carico distribuito

k ₁	1.00
k ₂	0.037
b _f / b	0.98
f _{tdk,2} Resist. di prog al distacco	1600 MPa
ε _{f,td} Deformazione max di distacco	0.00432
ε _f Lembo teso CLS all'applicazione	0.00034
ε _{eq} - ε _f	0.00180
Γ _{fr} Energia specifica di frattura	0.368 MPa
f _{td} Resist. di prog. adesione FRP	3.11 MPa
l _{td} Lunghezza ottimale di ancoraggio	200.0 mm
f _{tdk} Resist. di prog. al distacco	779 MPa
ε calcolo, ε _{fr}	0.00432

$\epsilon_{fr} = \frac{f_{tdk}}{E_f} \geq \epsilon_f - \epsilon_f$

NO distacchi intermedi

Output: calcolo dell'asse neutro a rottura e del momento ultimo (g.. M..)									
E' un processo iterativo in cui si ipotizza un valore per γ _s e si verifica che corrisponda a γ _s =0 (rottura in flessione semplice)									
L'asse neutro taglia la soletta									
γ _s	regione	γ	λ	σ _s	σ _{s'}	σ _f	Risolve	eq. Traslazione	M _u
[mm]		sd.	sd.	MPa	MPa	MPa			[kNm]
17.57	1	0.80	0.416	-18.8167	450.00	1600.15		0.00	1352.32

Sezione non Rinforzata			
γ _s	σ _s	σ _{s'}	M _u
mm	MPa	MPa	kNm
16.24	-47.8	450.0	1171.19

ε _s cls	0.00013
ε _s acciaio comp.	-0.00005
ε _s acciaio teso	0.00443
ε _s frp	0.00432

M_{res} = 1352,74 > M_{agente} = 1306,40 kNm (verifica soddisfatta)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Comessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

verifica sezione non rinforzata con fibra di carbonio

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	-16.3	0.0
2	-16.3	105.0
3	-107.5	105.0
4	-107.5	145.0
5	107.5	145.0
6	107.5	105.0
7	16.3	105.0
8	16.3	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-13.0	4.7	28
2	13.0	4.7	28
3	-13.0	120.0	20
4	13.0	120.0	20
5	-104.0	140.0	16
6	104.0	140.0	16
7	-104.0	130.0	16
8	104.0	130.0	16

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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	2	28
2	5	6	10	16
3	7	8	10	16

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	-1085.70	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	1.9	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.9	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	-1085.70	0.00	0.00	-1390.61	0.00	1.28	54.5

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	0.115	-16.3	0.0	0.00248	-13.0	4.7	-0.02702	-104.0	140.0

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	-0.000218000	0.003500000	0.115	0.700

$M_{res} = 1390,61 > M_{agente} = 1085,79$ kNm (verifica soddisfatta)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Per gli effetti taglianti risulta necessario agli appoggi disporre elementi in fibra di carbonio. Di seguito si riporta la verifica

Cliente:	-	Cantiere:	-	Rif. Strutt.:	-
----------	---	-----------	---	---------------	---

Dati di Input	
Base [B]	325 mm
Altezza Totale [H]	1450 mm
Altezza Soletta [h]	400 mm
Altezza utile [d]	1425 mm
Copriferro [c ₁ = c ₂]	25 mm
D staffe	Φ 12
A _{elast}	113 mm ²
Passe	200 mm
Bracci staffe	2
Rc	30 MPa
Sforzo Normale Sollecita	0 kN

Materiali				
	Tearmini Media	Tearmini di Calcolo	FC	1.00
Calcestruzzo	30.00 MPa	20.00	f _{td}	22.00 MPa
			f _{tdm}	2.36 MPa
Acciaio	450.0 MPa	391	f _{td}	1.5
			f _{tdm}	1.15

Sceita FRP	
Materiali C UNI-EN 10683	Carbonio
Tipologia di rinforzo	Cestello
Tipologia di rinforzo	ad U
Esposizione	Esterna

CARATTERISTICHE FRP		GEOMETRIA FRP	
σ rottura	5340 MPa	f _{td} Coefficiente parziale perimet	1.2
Modulo elastico	256 GPa	numero di strati [n _s]	1
ε rottura, ε _{frp,u}	0.021		
spessore [t _f]	0.328 mm		
min{0,5d; 3b _v ; b _v ×200}	3 mm	β	30°
β inclinazione fessure da Taglio	45°		

Fase di calcolo	
A _{elast}	226 mm ²
ω _{elast}	0.0681
cot θ [di calcolo] NTC 2008	1.000
ν	0.50
β _{fr}	1.000
γ _{fr,el} Coefficiente parziale per i modi	1.2
η _a Fattore di conversione ambiente	0.85
f _{td} Tensione ultima di delaminazione	4126 MPa
k ₀	0.0370
k ₁	1.00
Φ _R	0.348
min{0,3d; h _{ef} }	1050 mm
Spessore Totale [t _f ·n _s]	0.328 mm
γ _f Coefficiente parziale	1.1
f _{td} Coefficiente parziale perimetanti	1.2
f _{td} Resistenza di presa alla delaminazione	581 MPa
Γ _{td} Energia Specifica di Frattura	0.3110
S _a	0.25
f _{td}	2.49
l _a lunghezza efficace di ancoraggio	200.0 mm
f _{td} Resistenza efficace di calcolo	544 MPa
f _{td,eff} Resistenza di progetto ridotta	581 MPa
V _{res}	381.2 kN

Calcolo Taglio resistente della sezione non rinforzata con FRP	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	2084 kN
V _{res,nonrinforzata}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza della sezione non rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	
V _{res}	567.29 kN
V _{res}	948.54 kN

Resistenza a taglio della sezione rinforzata	

14 LA SOLETTA

La soletta risulta essere di soli 20 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 ritiene di adottare 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 ai fini della definizione del Momento resistente delle travi. In tal senso si ringrosserà la soletta per ulteriori 20 cm con disposizione di 9 spinotti di collegamento Ø 16 magia 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 esistnte $g_{\text{peso soletta}} = s \cdot \gamma_{\text{pav}} = 0,20 \times 25,0 = 5,00 \text{ kN/m}^2$

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

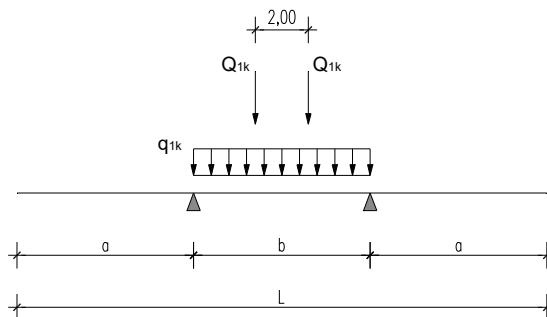


Figura 14.1 : Schema massimo momento in campata

Momento massimo all'appoggio

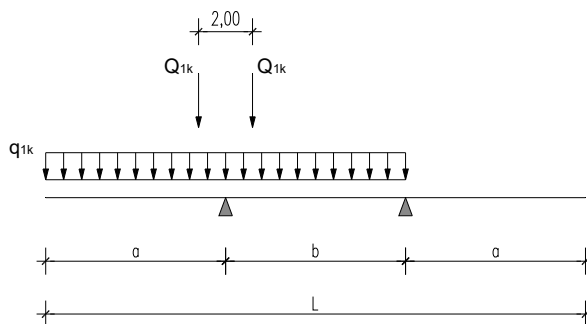


Figura 14.2 : Schema massimo momento all'appoggio

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).

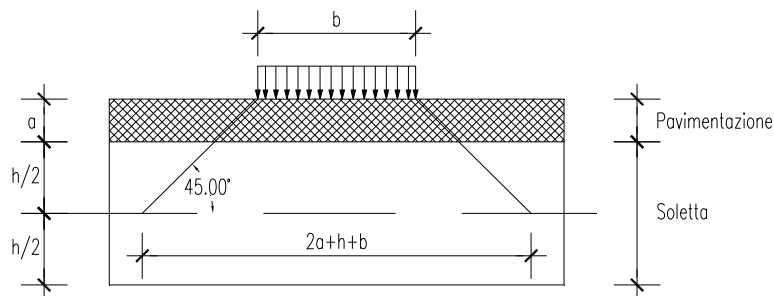


Figura 14.3 : Diffusione impronta di carico

Impronta ruota $b = 0,40$ m

Altezza pavimentazione $a = 0,10$ m

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Altezza soletta $h = 0,20 + 0,20 = 0,40 \text{ m}$

Diffusione carico $d = 2 \cdot a + h + b = 1,00 \text{ m}$

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

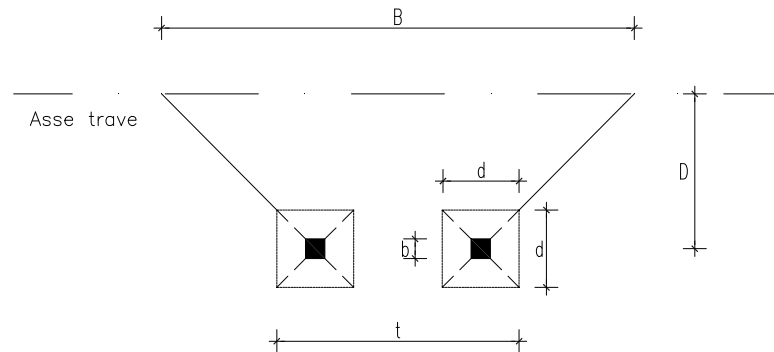


Figura 14.4 : Larghezza collaborante

- Momento massimo in campata

Distanza appoggio $D = 1,2375 \text{ m}$

$$t = 2,00 + d = 3,00 \text{ m}$$

Larghezza collaborante $B_{cam} = t + 2 \cdot \left(D - \frac{d}{2} \right) = 4,475 \text{ m}$

- Momento massimo all'appoggio

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

$$t = 2,00 + d = 3,00 \text{ m}$$

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 $M_{per} = (5,00 + 3,40 + 2,20) \times 2,475^2 / 24 = 2,71 \text{ kNm/m}$

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

Accidentale $M_{acc} = 300 \times 2,475 / 8 = 92,81 \text{ kNm}$

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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Combinazione SLU

$$M_{cam} = 1,35 \cdot M_{per} + 1,35 \cdot \frac{M_{acc}}{B_{cam}} = 31,66 \text{ kNm/m}$$

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

Combinazione SLE – Quasi Perm. $M_{cam} = 1,00 M_{per} = 2,71 \text{ kNm/m}$

Combinazione SLE - Freq. $M_{cam} = 1,00 M_{per} + 0,75 M_{acc}/B_{cam} = 18,26 \text{ kNm/m}$

Combinazione SLE - Rara $M_{cam} = 1,00 M_{per} + 1,00 M_{acc}/B_{cam} = 23,45 \text{ kNm/m}$

- Momento massimo all'appoggio

Permanente $M_{per} = -(5,00 + 3,40 + 2,20) \times 2.475,40^2/12 = -5,41 \text{ kNm/m}$

$$V_{per} = (5,00 + 3,40 + 2,20) \times (2,475 - 0,1625)/2 = 12,26 \text{ kN/m}$$

Accidentale $M_{acc} = -300 \times 2,475/8 = -92,81 \text{ kNm}$

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

Combinazione SLU

$$M_{app} = 1,35 \cdot M_{per} + 1,35 \cdot \frac{M_{acc}}{B_{app}} = -38,63 \text{ kNm/m}$$

$$V_{app} = 1,35 \cdot V_{per} + 1,35 \cdot \frac{V_{acc}}{B_{app}} = 117,80 \text{ kN/m}$$

Combinazione SLE – Quasi Perm. $M_{cam} = 1,00 M_{per} = -5,41 \text{ kNm/m}$

Combinazione SLE - Freq. $M_{cam} = 1,00 M_{per} + 0,75 M_{acc}/B_{cam} = -22,81 \text{ kNm/m}$

Combinazione SLE - Rara $M_{cam} = 1,00 M_{per} + 1,00 M_{acc}/B_{cam} = -28,61 \text{ kNm/m}$

14.2 Verifica sezioni

Si riporta la verifica sezionale della soletta per la sezione in mezzzeria 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 Φ 16/20 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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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
	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:	20.0	cm
Barre inferiori:	5Ø16	(10.1 cm ²)
Barre superiori:	5Ø16	(10.1 cm ²)
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	31.66	0.00	0.00
2	0.00	-38.63	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	23.45
2	0.00	-28.61

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	

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	18.26 (18.30)
2	0.00	-22.81 (-18.30)

COMB. QUASI PERMANENTI (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	2.71 (18.30)
2	0.00	-5.41 (-18.30)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.4	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	31.66	0.13	53.63	1.694	15.1	0.35	0.87	20.1 (2.1)
2	S	0.00	-38.63	0.13	-53.63	1.388	4.9	0.35	0.87	20.1 (2.1)

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	20.0	-0.00082	14.0	-0.00657	6.0
2	0.00350	0.0	-0.00082	6.0	-0.00657	14.0

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)

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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	7.58	20.0	0.00	14.7	-185.7	14.0	4.9	489	10.1	
22.0											
2	S	9.25	0.0	0.00	5.3	-226.6	6.0	4.9	489	10.1	
22.0											

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; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ 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	-0.00157	0.00057	0.50	0.60	0.000557 (0.000557)	309	0.172 (990.00)
18.30								
2	S	-0.00192	0.00069	0.50	0.60	0.000710 (0.000680)	309	0.220 (990.00) -
18.30								

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	5.90	20.0	0.00	14.7	-144.6	14.0	4.9	489	10.1	
22.0											
2	S	7.37	0.0	0.00	5.3	-180.6	6.0	4.9	489	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	-0.00122	0.00044	0.50	0.60	0.000434 (0.000434)	309	0.134 (0.40)
18.30								
2	S	-0.00153	0.00055	0.50	0.60	0.000542 (0.000542)	309	0.168 (0.40) -
18.30								

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	0.88	20.0	0.00	14.6	-21.5	14.0	4.9	489	10.1	
22.0											
2	S	1.76	0.0	0.00	5.4	-42.8	6.0	4.9	489	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	-0.00018	0.00007	0.50	0.40	0.000064 (0.000064)	309	0.020 (0.30)
18.30								
2	S	-0.00036	0.00013	0.50	0.40	0.000129 (0.000129)	309	0.040 (0.30) -
18.30								

Verifica al taglio

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

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)
Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

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

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
ACCIAIO -	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	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	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	40.0	cm
Barre inferiori:	3Ø12	(3.4 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	0.10	117.80	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	21.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.2	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)	

Intervento di manutenzione straordinaria del ponte sulla SP ex SS 420 sul canale Navarolo a intersezione SP 73 in comune di Commessaggio (MN)

Progetto esecutivo – Relazione di calcolo

Yn	Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000								
x/d	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.								
C.Rid.	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45								
	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	0.10	0.09	57.28	572.794	35.9	0.12	0.70

13.4 (5.0) 12)

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	40.0	-0.00166	34.0	-0.02576	6.0

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	117.80	154.73	34.0	100.0	0.0040	0.00