
OPERA

Progetto esecutivo per lavori di manutenzione straordinaria per la messa in sicurezza del ponte per l'attraversamento del fiume Arno Comune di Capolona

ADEGUAMENTO FUNZIONALE
RELAZIONE DI CALCOLO

Settembre 2024
RIF. PRATICA 22003

R.02.V01

COMMITTENZA



PROVINCIA DI AREZZO

PROGETTISTI E CONSULENTI

Ing. Andrea Barocci



INGEGNERIA DELLE STRUTTURE
analisi - progettazione - consulenze

Sede legale e operativa –
via P. Tosi n° 318 47822 Santarcangelo di Romagna (RN)
Tel. +39 0541 391120 - info@ingegneriadellestrutture.it -
www.ingegneriadellestrutture.it



Sommario

0	Premessa	4
1	Introduzione	6
2	Norme di riferimento.....	7
3	Rilievo geometrico-strutturale	8
4	Materiali impiegati	9
4.1	Materiali strutture esistenti.....	9
4.2	Materiali nuove strutture	9
5	Analisi dei carichi	11
5.1	Azioni Permanenti.....	11
5.2	Azioni variabili da traffico	12
5.3	Urto di veicolo in svio	13
5.4	Combinazioni di carico	16
6	Verifiche ancoraggi barriera	18
6.1	Barriera lato monte (rimontaggio barriera esistente)	18
6.1.1	Verifica cordolo porta barriera	26
6.2	Barriera lato valle.....	32
6.2.1	Verifica cordolo porta barriera (nuova barriera)	32
6.2.2	Verifica cordolo porta barriera	40
7	Verifica statica	46
7.1	Percorso conoscitivo.....	46
7.2	Rilievo geometrico strutturale.....	48
7.3	Verifica Travi	49
7.3.1	Campata 1-2-3.....	50
7.3.2	Campata 4	54
7.3.3	Campata 5	59
7.3.4	Campata 6	62
7.3.5	Campata 7	65
7.4	Verifica soletta	69
7.5	Verifica pile	89
7.6	Verifica pulvino pile in alveo	91
8	Conclusioni	Errore. Il segnalibro non è definito.



0 Premessa

Oggetto della presente è il progetto definitivo di adattamento funzionale del Ponte per l'attraversamento del fiume Arno nel comune di Capolona.

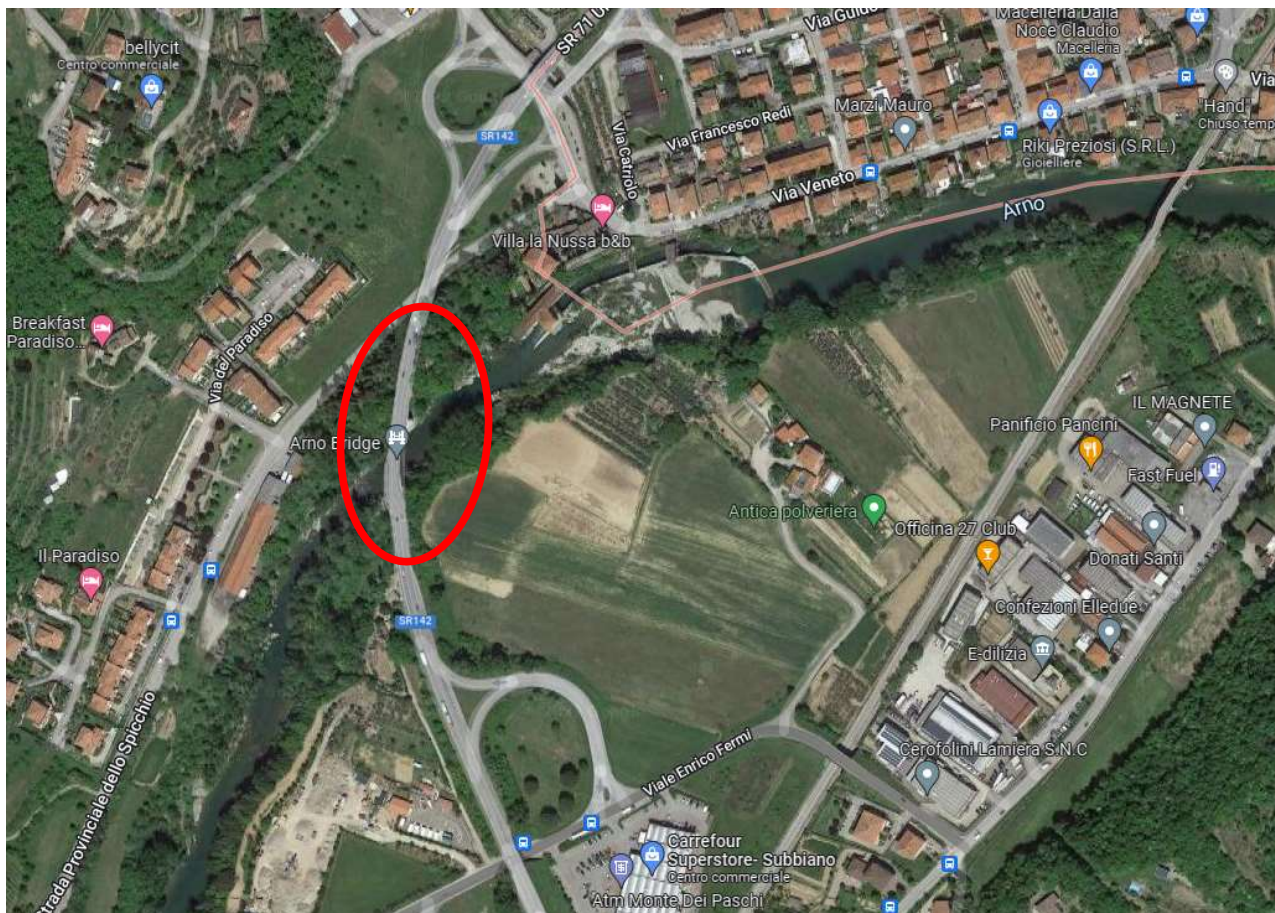


Figura 1 Estratto Google Maps (43.560580, 11.848936)

Allo stato di fatto il ponte ha uno sviluppo longitudinale di circa 200 m ed è costituito da 7 campate di luce differente aventi tutte il medesimo schema statico ad appoggio.

Le tre campate sovrastanti il fiume Arno di lunghezza 32 m presentano 9 travi longitudinali in calcestruzzo armato precompresso con sezione a I di altezza 1,40 m non simmetrica poste ad interasse di 1,10 m. La sottostruttura in corrispondenza dell'alveo è costituita da due pile aventi sezione ellittica piena in calcestruzzo armato gettato in opera. In sommità alle pile è presente un pulvino in calcestruzzo armato gettato in opera con sezione a cassone avente 5 travi a sezione variabile.

Le restanti quattro campate che permettono l'attraversamento della SP56 hanno lunghezza 15 m e presentano 9 travi longitudinali in calcestruzzo armato precompresso con sezione a I di altezza 1,00 m simmetrica poste ad interasse di 1,20 m. La sottostruttura è costituita da pile composte da 3 fusti a sezione rettangolare collegati in sommità mediante una trave pulvino.

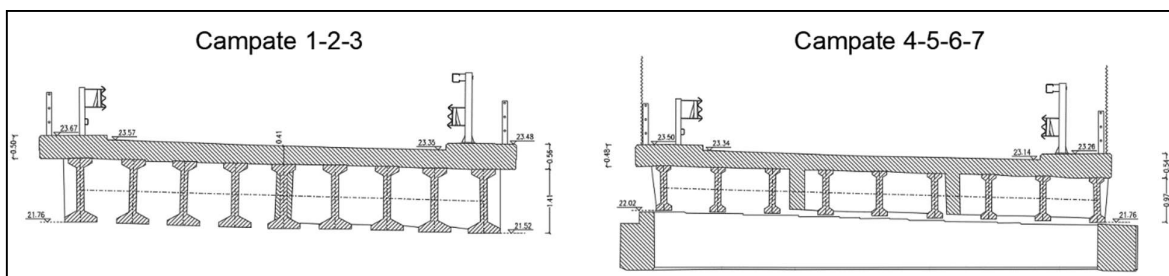


Figura 2 Sezioni trasversali

In riferimento alla geometria e alle caratteristiche strutturali dell'opera d'arte in oggetto, è stato possibile reperire solo parte del progetto esecutivo dell'epoca di costruzione. In particolare, sono disponibili gli elaborati grafici e di calcolo delle sole 3 campate sovrastanti il fiume Arno.

Al fine di redigere un'accurata analisi, è stato eseguito un rilievo per mezzo di laser scanner. Inoltre, nei mesi di Settembre e Novembre 2022 è stata elaborata una importante campagna diagnostica predisposta dallo scrivente ed eseguita da Co.M.Sigma Srl (laboratorio Tecnico e Collaudi).

1 Introduzione

Oggetto della presente relazione è fornire una visione generale dell'opera esistente, descrivere l'adeguamento funzionale previsto che prevede il rifacimento dei cordoli e la sostituzione dei sicurvia non più a norma con l'attuale codice della strada e il ripristino delle superfici ammalorate, con le relative verifiche strutturali di tutti gli elementi coinvolti.

L'incarico ricevuto dalla Provincia di Arezzo è stato espletato ricercando il materiale disponibile, effettuando accurati rilievi, definendo e coordinando una campagna di indagini diagnostiche al fine di eseguire opportune modellazioni numeriche ed analisi strutturali necessarie per effettuare una verifica accurata dell'opera e per progettare i nuovi elementi strutturali richiesti dall'adeguamento funzionale.

2 Norme di riferimento

Le normative utilizzate sono quelle facenti parte dell'impianto tipico per le opere strutturali; ad esse si andrà ad attingere per le singole verifiche, avendo cura di specificarne il loro uso.

L.1086/71 – Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

D. Min. Infrastrutture 17 Gennaio 2018 (di seguito NTC2018)

Circolare C.S.LL.PP. 21 Gennaio 2019 n° 7 (di seguito Circ7)

Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti 17 Aprile 2020

Eurocodice 1: UNI EN 1991-2:2005 Parte 2: Carichi da traffico sui ponti

Eurocodice 2: UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

ETAG 001: Linee guida per il benessere tecnico europeo di ancoranti metallici da utilizzare nel calcestruzzo

D. LGS 30 aprile 1992, n. 285 (Nuovo codice della strada)

D. Min. Infrastrutture 5 Novembre 2001 (Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade)

D. Min. Infrastrutture 21 Giugno 2004 (Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale)

3 Rilievo geometrico-strutturale

Vedere paragrafo 3 della relazione illustrativa R.01.

4 Materiali impiegati

Le caratteristiche meccaniche dei materiali adottati per la realizzazione degli interventi di consolidamento e delle strutture esistenti sono riepilogate di seguito.

4.1 Materiali strutture esistenti

Date le prove (si fa riferimento alla relazione R03-Relazione sui materiali) si stima quindi che il livello di conoscenza, in base a quanto riportato nel §8.5.4 delle NTC 2018, sia LC3, a cui corrisponde un fattore di confidenza pari a $FC = 1.00$.

Si rimanda all'elaborato R03 *Relazione sui materiali*.

4.2 Materiali nuove strutture

Malta ripristino intradosso travi: Malta tissotropica a ritiro compensato, Resist. Compr. > 45Mpa classe R4

Calcestruzzo: C35/45

Carpenteria metallica S355: $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$, $f_{tu} = 510 \text{ MPa}$ (vedi nota 1)

Armatura ordinaria B450C: $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO

Calcestruzzo:	C35/45	$\gamma_c =$	1.50
$R_{ck} =$	45 N/mm ²	<i>Resistenza a compressione cubica</i>	
$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} =$	35 N/mm ²	<i>Resistenza a compressione cilindrica</i>	
$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c =$	19.83 N/mm ²	<i>Resistenza a compressione di progetto</i>	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2 =$	43 N/mm ²	<i>Resistenza cilindrica media</i>	
$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} =$	3.21 N/mm ²	<i>Resistenza media a trazione semplice</i>	
$f_{ctm} = 1.2 \times f_{ctm} =$	3.85 N/mm ²	<i>Resistenza media a trazione per flessione</i>	
$f_{ctk,0.05} = 0.7 \times f_{ctm} =$	2.25 N/mm ²	<i>Resistenza caratteristica a trazione</i>	
$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c =$	1.50 N/mm ²	<i>Resistenza caratteristica a trazione di progetto</i>	
$f_{bk} = 2.25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctk} =$	5.06 N/mm ²	<i>Tensione tangenziale aderenza acciaio-clt</i>	
$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c =$	3.37 N/mm ²	<i>Tensione tang. aderenza acciaio-clt di progetto</i>	
$E_{cm} = 22000 \times [f_{cm} / 10]^{0.3} =$	34077 N/mm ²	<i>Modulo elastico</i>	

Per una descrizione dettagliata dei materiali e delle indagini eseguite si rimanda alla “R03 - Relazione sui materiali” allegata.

5 Analisi dei carichi

Di seguito si riporta l'analisi dei carichi, nella modalità con cui sono stati considerati nelle verifiche

5.1 Azioni Permanenti

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE IMPALCATO DEL PONTE			
Lunghezza della trave (trave luce max)	L	31.2	[m]
Soletta collaborante (travi centrali)	i	1.10	[m]
Lunghezza complessiva impalcato	Limpalcato	200.00	[m]
Larghezza impalcato	Limpalcato	10.60	[m]
Larghezza marciapiede	Lmarciapiede	1.50	[m]
Larghezza base trave	b _w	0.50	[m]
Altezza soletta	Hsoletta	0.22	[m]
Numero travi	N°	9.00	[-]
Sbalzo bordo da interasse trave	λ _{sbalzo}	0.90	[m]
Sbalzo bordo da bordo trave	λ _{sbalzo} fine anima	0.65	[m]
Larghezza cordolo	Lcordolo	1.50	[m]
Altezza cordolo	Hcordolo	0.56	[m]
STRATI DI PAVIMENTAZIONE			
Strato di stabilizzato/impermeabilizzante	Sp _{stabilizzato}	0.00	[m]
Strato di Binder in misto Cementato	Sp _{mistocementato}	0.19	[m]
Strato di Usura	Sp _{usura}	0.00	[m]
Peso Specifico Stabilizzato	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m ³]
Peso Specifico Pavimentazione (binder)	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m ³]
Peso Specifico Pavimentazione (usura)	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m ³]
CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI E NON STRUTTURALI			
Peso proprio strutturale Soletta	G _{1,soletta}	5.50	[kN/m ²]
Peso cordolo	G _{1,cordolo}	14.00	[kN/m ²]
Peso Permanente portato Stabilizzato	G _{2,stabilizzato}	0.00	[kN/m ²]
Peso Permanente portato Binder	G _{2,Binder}	3.61	[kN/m ²]
Peso Permanente portato Usura	G _{2,strato di usura}	0.00	[kN/m ²]
Totale Pesì Portati	G _{2,tot}	3.61	[kN/m ²]
Peso Barriera	G _{2,barriera}	1.50	[kN/m]
Peso Barriera 2	G _{2,veletta}	0.50	[kN/m]
Peso Impianti (lato valle)	G _{2,impianti lato valle}	0.50	[kN/m]
Peso Impianti (lato monte)	G _{2,impianti lato monte}	0.00	[kN/m]
Peso Pavimentazione marciapiede	G _{2,marciapiede}	0.00	[kN/m ²]
Carico totale carreggiata		9.11	[kN/m]
Carico totale "cordolo"		23.11	[kN/m]

5.2 Azioni variabili da traffico

Nel seguito si riporta la descrizione dei carichi variabili da traffico considerati nella verifica. Gli schemi considerati sono quelli convenzionali previsti dalle NTC2018 considerando la vita nominale dell'opera come indicata dalle normative tecniche.

5.1.3.3.3 Schemi di Carico

Le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dai seguenti Schemi di Carico:

- Schema di Carico 1:** è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Fig. 5.1.2. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.
- Schema di Carico 2:** è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m, come mostrato in Fig. 5.1.2. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.
- Schema di Carico 3:** è costituito da un carico isolato da 150 kN con impronta quadrata di lato 0,40 m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi non protetti da sicurtia.
- Schema di Carico 4:** è costituito da un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi protetti da sicurtia e sulle passerelle pedonali.
- Schema di Carico 5:** costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m². Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m². Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

5.1.3.3.5 Disposizione dei carichi mobili per realizzare le condizioni di carico più gravose

Il numero delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo è quello massimo compatibile con la larghezza della superficie carrabile, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna corsia in 3,00 m.

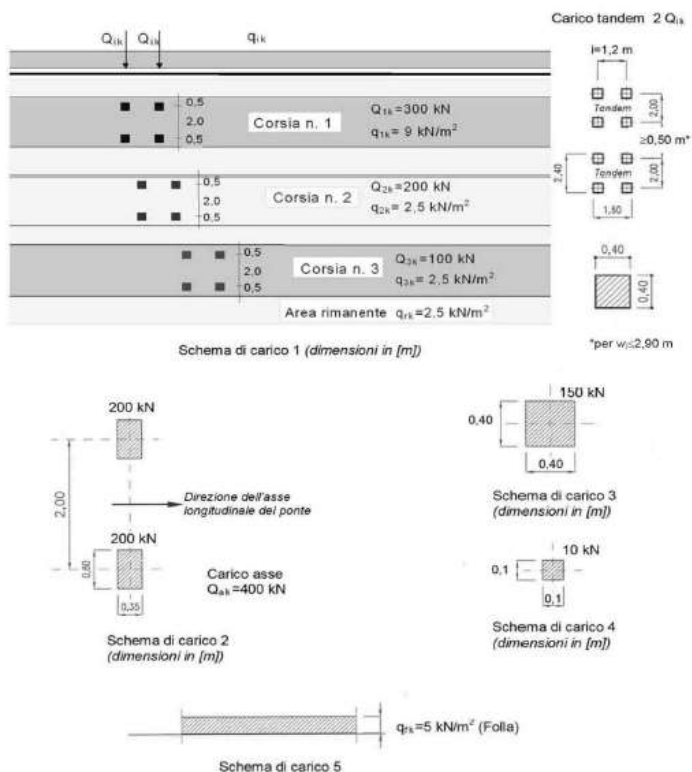


Fig. 5.1.2 - Schemi di carico 1 - 5 (dimensioni in m)

Impalcato

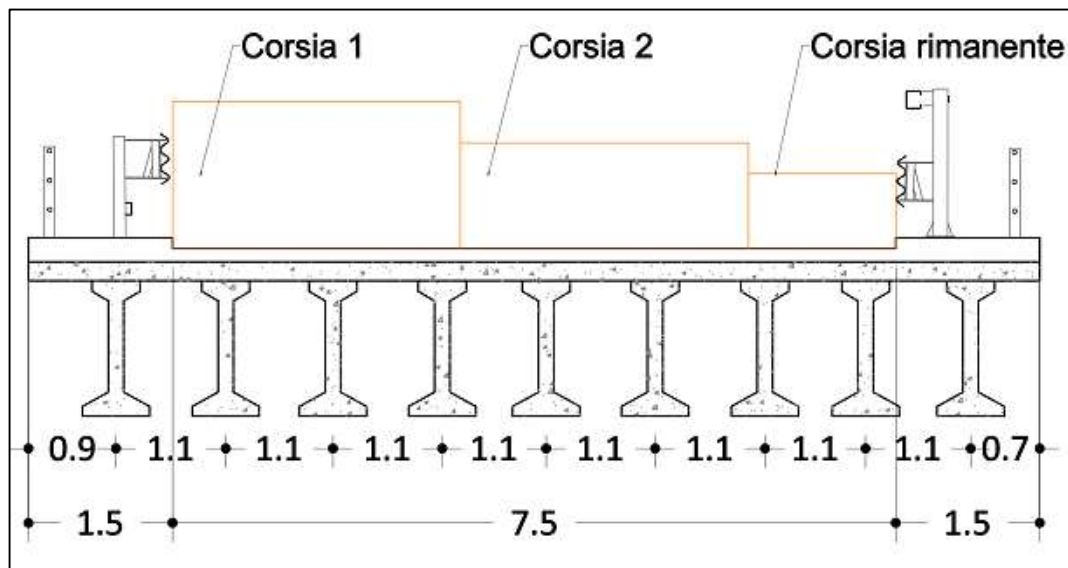
STATO DI FATTO

Carico variabile distribuito (Schema di carico 1 - §5.1.3.3.3 NTC2018) (Corsia 1)	9,00	kN/m ²
Carico variabile distribuito (Schema di carico 1 - §5.1.3.3.3 NTC2018) (Corsia 2)	2,50	kN/m ²
Carico variabile distribuito (Schema di carico 1 - §5.1.3.3.3 NTC2018) (Corsia 3 e restanti)	2,50	kN/m ²



Carico concentrato Tandem (Schema di carico 1 - §5.1.3.3.3 NTC2018) (Corsia 1)	300,00	kN
Carico concentrato Tandem (Schema di carico 1 - §5.1.3.3.3 NTC2018) (Corsia 2)	200,00	kN
Carico concentrato Tandem (Schema di carico 1 - §5.1.3.3.3 NTC2018) (Corsia 3)	100,00	kN
Carico variabile distribuito (Schema di carico 5 - §5.1.3.3.3 NTC2018) (Folla compatta)	5,00	kN/m ²

Considerando la configurazione geometrica della sezione trasversale del ponte post-intervento funzionale che prevede la sostituzione delle barriere e la realizzazione di nuovi cordoli, si ottiene una carreggiata carrabile di 7 m. Le corsie convenzionali di traffico vengono disposte come rappresentato nella seguente immagine.



Sezione trasversale impalcato

5.3 Urto di veicolo in svio

Il calcolo delle azioni sulle barriere di sicurezza viene condotto secondo quanto riportato al paragrafo 5.1.3.10 delle NTC 2018. Le barriere di sicurezza stradali e gli elementi strutturali ai quali sono collegate devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta, per l'impiego specifico, dalle norme nazionali applicabili. Nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una combinazione di carico nella quale al sistema di forze orizzontali, equivalenti all'effetto dell'azione d'urto sulla barriera di sicurezza stradale, si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema di Carico 2, posizionato in adiacenza alla barriera stessa e disposto nella posizione più gravosa.

Tale sistema di forze orizzontali potrà essere valutato dal progettista, alternativamente, sulla base:

- delle risultanze sperimentali ottenute nel corso di prove d'urto al vero, su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, mediante l'utilizzo di strumentazione idonea a registrare l'evoluzione degli effetti dinamici;
- del riconoscimento di equivalenza tra il sistema di forze e le azioni trasmesse alla struttura, a causa di urti su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, laddove tale equivalenza risulti da valutazioni teoriche e/o modellazioni numerico-sperimentali;

In assenza delle suddette valutazioni, il sistema di forze orizzontali può essere determinato con riferimento alla resistenza caratteristica degli elementi strutturali principali coinvolti nel meccanismo d'insieme della barriera e deve essere applicato ad una quota h , misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h_1 e h_2 , dove h_1 = (altezza della barriera - 0,10m) e h_2 = 1,00 m. Nel dimensionamento degli elementi strutturali ai quali è collegata la barriera si deve tener conto della eventuale sovrapposizione delle zone di diffusione di tale sistema di forze, in funzione della geometria della barriera e delle sue condizioni

di vincolo. Per il dimensionamento dell'impalcato, le forze orizzontali così determinate devono essere amplificate di un fattore pari a 1,50.

Il coefficiente parziale di sicurezza per la combinazione di carico agli SLU per l'urto di veicolo in svio deve essere assunto unitario. Secondo quanto riportato al paragrafo 3.6 e più precisamente al 3.6.3 delle NTC 2018, l'azione di urto appartiene alla tipologia di carico eccezionale; pertanto, le verifiche relative a tale azione verranno condotte secondo la combinazione eccezionale definita al paragrafo 2.5.3 delle NTC 2018.

Nel caso in esame si è a conoscenza, già in fase di progetto, della tipologia di barriera che sarà installata sul viadotto. Per tale motivo si ritiene corretto procedere alla definizione delle azioni orizzontali equivalenti a partire dalle resistenze caratteristiche degli elementi strutturali (in particolare dal momento resistente caratteristico del montante) amplificato del fattore 1.50.

Sul viadotto verranno installate barriere di tipo H3 bordo ponte (per dettagli si faccia riferimento alla R01- Relazione Illustrativa), per le quali i montanti sono costituiti da paletti verticali con sezione tubolare 120x80x4 mm in acciaio S235JR, ancorati al cordolo mediante piastra saldata e tirafondi.

L'azione derivante dal momento plastico della barriera può essere determinata considerando che la massima sollecitazione che tale sezione può trasmettere al cordolo in c.a. è quella che determina la formazione della prima cerniera plastica alla base del paletto. La prima cerniera plastica si determina calcolando il momento di plasticizzazione della sezione e individuando con sufficiente approssimazione il punto in cui essa si potrà formare. Il momento di plasticizzazione è pari a:

$$M_{pl} = W_{pl} \times f_{yk}$$

In cui W_{pl} è il modulo di resistenza plastico della sezione, f_{yk} è la tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio corrispondente al frattile 5% di probabilità ($f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$)

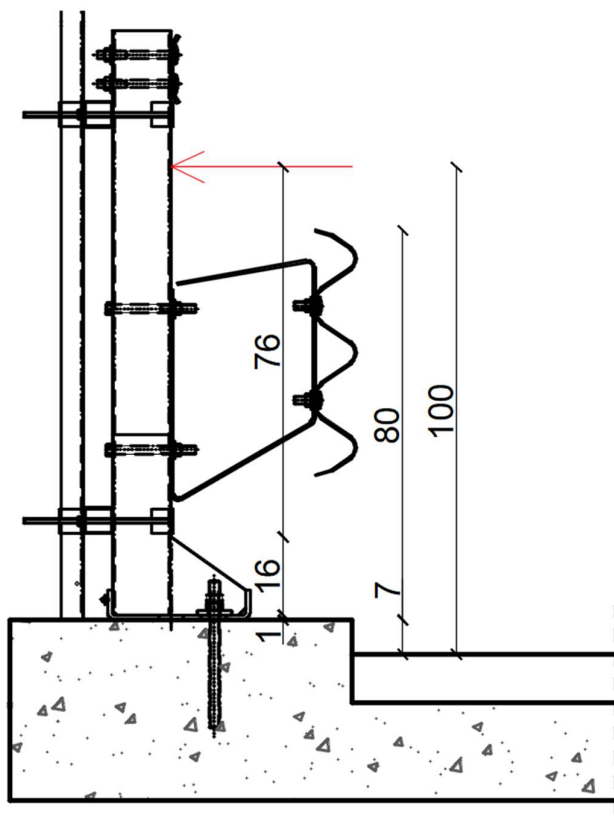
Con riferimento alla sezione del montante della barriera e amplificando il momento di 1.50, si ha:

$$W_{pl} = 62.21 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl} = W_{pl} \times f_{yk} \times 1.50 = 21.93 \text{ kNm}$$

Il momento plastico si forma sopra le piastre di rinforzo presenti alla base del paletto. Per cui considerato che la forza di urto è applicata ad una quota $H = 1.00\text{m}$ dal piano viabile, che il cordolo è sopraelevato di 7 cm rispetto al piano viabile, che lo spessore della piastra è di 10 mm e che l'altezza dei rinforzi è variabile (H media = 16 cm), la distanza tra la cerniera plastica e il punto di applicazione della forza è pari a:

$$b_F = 0.76 \text{ m}$$



L'azione orizzontale associata alla formazione della prima cerniera plastica è quindi pari a:

$$H_{urto} = M_{pl} / b_F = 28.86 \text{ kN}$$

Per portare le sollecitazioni alla sezione di ancoraggio, si deve aggiungere il momento di trasporto generato dalla distanza tra la sezione di verifica e la sezione della cerniera plastica, per cui:

$$M_{urto} = M_{pl} + H_{urto} \times (H - b_F) = 26.84 \text{ kNm}$$

Per il progetto dell'impalcato, viene considerata una condizione di carico eccezionale, nella quale alla forza orizzontale d'urto su sicurvia si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito da Secondo Schema di Carico, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.

5.4 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico da considerare ai fini delle verifiche devono essere stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al Cap. 2. Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si dovranno considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV. del DM 17/01/2018.

Di seguito si riportano le combinazioni considerate:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5KN/m ²
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti pedonali
 (**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
 (***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	$EQU^{(1)}$	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	γ_Q	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
Azioni variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90 1,00 ⁽³⁾	1,00 1,00 ⁽⁴⁾	1,00 1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00 1,20	0,00 1,20	0,00 1,00

Per quanto riguarda i carichi permanenti non strutturali, essendo questi compiutamente definibili si applicherà un coefficiente di sicurezza pari a $\gamma_{G2}=1.35$

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

6 Verifiche ancoraggi barriera

6.1 Barriera lato monte (rimontaggio barriera esistente)

Come riportato nel paragrafo “7.3 Analisi dei carichi: Urto veicolo in svio”, il calcolo degli ancoraggi delle barriere viene effettuato considerando le azioni orizzontali equivalenti ottenute a partire dalle resistenze caratteristiche dei montanti, amplificate di 1.50 volte. Tale approccio è possibile in quanto si conosce già in fase progettuale la tipologia di barriera che sarà installata. Le azioni che si ottengono alla base del paletto sono:

H_{urto} = 28.9 kN (Forza orizzontale)

M_{urto} = 26.8 kNm (Momento)

Il momento di plasticizzazione genera una forza di trazione sui tirafondi, che può essere determinata applicando la teoria elastica e assumendo le seguenti ipotesi:

- la piastra di ancoraggio resta piana;
- gli elementi di ancoraggio hanno tutti la stessa rigidezza;
- gli elementi di ancoraggio non contribuiscono all'equilibrio se sono compressi.

Per determinare la forza di trazione è necessario conoscere la geometria della piastra di ancoraggio e la posizione degli ancoraggi. Per tale barriera l'ancoraggio avviene tramite 1 tirafondo M24 ($A=4.52\text{cm}^2$, $A_{\text{res}}=3.53\text{cm}^2$). Al fine di prevenire la rottura del cono di calcestruzzo, verranno inseriti dei ferri $\phi 14/20$ cm, che attraversano la potenziale superficie di rottura del cono e che ne impediscono la formazione.

Secondo quanto riportato la capitolo 3 delle NTC 2018, per le verifiche dei cordoli e degli ancoraggi è stata considerata una condizione di carico eccezionale nella quale alla forza d'urto su sicurvia si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dal Secondo Schema di Carico, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.

L'azione di urto di veicolo in svio è un'azione eccezionale, per cui i carichi agenti devono essere combinati secondo la combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + A_d + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

In cui:

- G_1 sono i carichi permanenti strutturali;
- G_2 sono i carichi permanenti portati;
- A_d è l'azione eccezionale (urto);
- Q_{ki} sono i carichi accidentali.

Inoltre, secondo quanto riportato al §4.1.4 delle NTC2018, le resistenze di calcolo riferite ad una condizione di carico eccezionale si ottengono utilizzando coefficienti parziali di sicurezza unitari, cioè $\gamma_c=1.0$ e $\gamma_s=1.0$.

Il nuovo cordolo che ospiterà le barriere bordo ponte sarà realizzato in calcestruzzo armato C35/45.

Le verifiche degli ancoraggi sono state condotte secondo le “ETAG 001-1997: Linea guida per il benessere tecnico europeo di ancoranti metallici da utilizzare nel calcestruzzo – Allegato C: Metodi di progettazione degli ancoraggi”. In particolare sono state condotte verifiche a trazione (rottura del connettore, rottura conica del calcestruzzo, rottura per sfilamento e rottura per splitting), a taglio (rottura del connettore, rottura del bordo e rottura per pry-out) e verifiche per rottura combinata taglio-trazione.

DATI DI PROGETTO

Materiali



Ancoranti:

cl8.8

$f_{yk} =$	640	N/mm ²	Res. caratteristica di snervamento
$f_{uk} =$	800	N/mm ²	Res. caratteristica di rottura

Calcestruzzo:

pers

$f_{ck} =$	35.1	N/mm ²	Res. caratteristica cilindrica a compressione
$R_{ck} =$	42.2	N/mm ²	Res. caratteristica cubica a compressione
$f_{ctk} =$	2.25	N/mm ²	Res. caratteristica a trazione
$f_{bd} =$	5.06	N/mm ²	Aderenza Cls-acciaio

Armatura lenta: B450C

$f_{yk} =$	450	N/mm ²	Res. caratteristica di snervamento
$f_{uk} =$	540	N/mm ²	Res. caratteristica di rottura

Caratteristiche geometriche**Ancorante**

$d_{nom} =$	24	mm	Diametro nominale tirafondo
$A =$	452	mm ²	Area tirafondo
$A_{res} =$	353	mm ²	Area resistente tirafondo
$h_{eff} =$	330	mm	Profondità effettiva ancoraggio

Cordolo e soletta

$B_{cord} =$	25	cm	Larghezza cordolo
$H_{cord} =$	25	cm	Altezza cordolo
$S_{sol} =$	22	cm	Spessore soletta sottostante su cui si ancora il nuovo cordolo
$L_{sbalzo} =$	0.9	cm	Dimensioni sbalzo (da asse trave laterale inclusa larghezza cordolo)

Collegamento di base barriera

$B_{piastra} =$	25	cm	Dimensione piastra - lato parall al senso di marcia
$H_{piastra} =$	30	cm	Dimensione piastra - lato ort al senso di marcia
$n_h =$	2		Numero tirafondi orizzontali relativo ad una sola riga (paralleli senso marcia)
$n_v =$	1		Numero tirafondi verticali relativo ad una sola colonna (ortogonali senso marcia) . Nota: metti $n_v=2 \times 2$ tir compressi, metti $n_v= 1,5 \times 1$ tirafondo in zona compr (h_{3bp} imeva), metti $n_v=0$ x nessun tir compresso
$n_{tot} =$	2.0		Numero totale di tirafondi
$S_1 =$	17	cm	Interasse tirafondi orizzontali parallelo senso marcia (caso singolo tirafondo=0)
$C_1 =$	4.0	cm	Distanza dal bordo piastra (parallela senso marcia)
$S_2 =$	0	cm	Int. tirafondi verticali (SE CI SONO SOLO TIR IN ZONA TESA METTI 0)
$C_2 =$	24.5	cm	Distanza dal bordo piastra (ortogonale senso marcia) (distanza minima)
$C_{2,2} =$	4	cm	Distanza dei tirafondi tesi dal bordo interno del cordolo
$C_{2,3} =$	21	cm	Distanza dei tirafondi tesi dal bordo esterno del cordolo
$C_{2,4} =$	21	cm	Distanza dei tirafondi compressi (o piu esterni) dal bordo esterno del cordolo
$C_{1,2} =$	60	cm	Distanza di un tirafondo dal bordo del cordolo parallelamente a senso di marcia - ultimo tirafondo a fine intervento

Azioni sollecitanti

$P_{sic} =$	1.50	kN/m	Peso barriera
-------------	------	------	---------------

Azioni su barriera

Azioni da Normativa:	Eurocodice		
$M_{plast,bar} =$	14.6	kNm	Momento plastico trasmesso dal montante ($W_{pl} \times f_{yk}$ o da scheda barriera per verifica Eurocodice) SI PUO' FARE UTILIZZANDO W con frattile al 5%-l'incremento del frattile al 95% è conteggiato nell'incremento di 1,5. Bisogna determinare la classe della sezione e vedere se a flex puo' sviluppare un comportamento plastico classe 1-2 (prendi W_{pl}) oppure elastico classe è 3 o 4 (prendi W_{el})
$T_{bar} =$	0.0	kN	Taglio trasmesso dal montante (da scheda barriera per verifica Eurocodice) inserire 0 se non si conosce
$N_{bar} =$	33.4	kN	Azione max sul tirafondo teso (DA CALCOLO gelfi in fondo)
$h_{cp,p,viabile} =$	0.170	m	Altezza cerniera plastica da estradosso cordolo
$h_{c,c} =$	0.070		Altezza asfalto - estradosso cordolo
$F_{NTC} =$	100.0	kN	Forza urto secondo NTC2008
$h_{urto} =$	1.00	m	Quota urto secondo NTC2008 inserire il minimo tra(H_{barr} -0.1 m e 1 m)
$b,f,int =$	0.76	m	braccio forze (dist punto applic F a cerniera plastica)
In caso di verifica secondo Eurocodice, si amplificano le sollecitazioni di un fattore pari a 1.5 e si considera il momento di trasporto alla base dell'ancoraggio			

$F_{urto} =$	28.9	kN	Forza urto applicata a quota cerniera plastica
$M_{urto,tirafondi} =$	26.8	kNm	Momento indotto da urto amplificato e trasportato alla base dei tirafondi

Azioni su singolo tirafondo

$N_{coll} =$	33.4	kN	Azione di trazione su singolo tirafondo (Positiva se trazione)
$n_{tir,taglio} =$	4.00		num tirafondi che resistono a taglio (escludi quelli in fori asolati in dir forza)
$V_{coll} =$	7.2	kN	Azione di taglio su singolo tirafondo

Di seguito si riporta la verifica completa dell'ancoraggio relativa a tutte le tipologie di rottura elencate in precedenza.

Le verifiche sono condotte considerando i carichi nella combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{i=2}^n \psi_{2i} Q_{ki}$$

Secondo il par.4.1.4 e 4.2.6, in caso di verifiche in combinazione eccezionale, le resistenze di calcolo dei materiali si ottengono con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$\gamma_{Mc} =$	1.00	Calcestruzzo
$\gamma_{Ms} =$	1.00	Acciaio

MODALITA' DI ROTTURA A TRAZIONE

Rottura dell'acciaio

$N_{Ed} =$	33.4	kN	Azione di trazione sollecitante il singolo tirafondo
$N_{Rk,s} =$	282.4	kN	Resist. caratteristica per rottura dell'acciaio
$N_{Rd,s} =$	282.4	kN	Resist. di progetto per rottura dell'acciaio
c.s. =	8.47	VER.OK	

Armatura integrativa?

Ancorante chimico noto?

$\phi_{arm,int} =$	12	mm	Diametro barre integrative
--------------------	----	----	----------------------------



$L_{min,10f} =$	120	mm	Lunghezza consigliata barre integrative a partire da sotto il cono di rottura, (consigliato 10fi)
$L =$	120	mm	Lunghezza barre integrative sotto il cono di rottura - minima necessaria (DA CALCOLO ARMATURA INTEGRATIVA)
$\tau_{Rk} =$	5.06	N/mm ²	Tensione aderenza
$n_{br-U} =$			nr braccia staffa U cordolo-soletta (se sfrutti la staffa trasversale presente puoi utilizzare un solo braccio è in zona tesa)
$n_{br-New} =$	2		nr braccia nuova staffa integrativa
$n_{staffe} =$	2		nr staffe integrative (utilizza = diametro della staffa ad U)
$N_{res} =$	91.57	kN	Azione di trazione assorbita da 1 staffe integrative
$N_{ed,agg} =$	31.43	kN	Trazione massima assorbita dal braccio teso staffa U

Rottura per sfilamento del tirafondo

Ancorante chimico noto?

SI

$N_{gruppo} =$ 66.7 kN

Azione sul gruppo

$N_{Ed} =$ 33.4 kN

Azione di trazione sollecitante il singolo tirafondo

In caso di ancorante chimico noto:

$\tau_{Rk,ucr,C20/25} =$ 9 N/mm²

Resist. carat. cls non fessurato (da scheda ANCORANTE VEDI CASO BARRE FILETTATE)

$\tau_{Rk,cr,C20/25} =$ 9.5 N/mm²

Resist. carat. cls fessurato (da scheda ANCORANTE VEDI CASO BARRE FILETTATE)

$\Psi_c =$ 1.06

Fattore amplificativo per cls diversi da C20/25 (vedi tabella a lato)

dip. da scheda ETA	
Rck mix sol-cord	Ψ_c
C 25/30	1.02
C 30/35	1.04
C 32/40	1.05
C 40/45	1.06
C 45/50	1.07
C 50/55	1.08
C 55/60	1.09

$N_{Rk,s} =$ 313.19 kN

Resist. caratteristica a sfilamento (si utilizza diam foro)

$N_{Rd,s} =$ 313.19

Resist. di progetto a sfilamento (ancorante noto)

In caso di ancoraggio chimico non noto (barra immersa nel cls, vedi EC2 pto 8.4.4):

N.B.: Prevedere un ancorante con adesione di aderenza pari o superiore a f_{bd}

$\eta_2 =$ 1.00

Coeff. funzione del diametro

$f_{bd} =$ 5.06 N/mm²

Tensione ultima di aderenza

$\sigma_{sd} =$ 73.72 N/mm²

Tensione di progetto del tirafondo

$l_{b,rqd} =$ 87.41 mm

Lunghezza di ancoraggio necessaria di base

$l_{b,min} =$ 240 mm

Lunghezza minima di ancoraggio

$\alpha_1 = \alpha_4 =$ 1

Posti uguali ad 1 a favore di sicurezza

$l_{bd} =$ 240.00 mm

Lunghezza di ancoraggio necessaria

c.s. = 9.39

VER.OK

Rottura del cono di calcestruzzo

$N_{Ed} =$ -24.9 kN

Azione di trazione sollecitante il gruppo di tirafondi

$k_1 =$ 7.7

Costante PER cls FESSURATO



Table C1: Essential characteristics for threaded rods under tension load in concrete

Threaded rod, HAS-U-..., HIT-V-..., AM...8.8			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
For a working life of 50 and 100 years										
Steel failure										
Characteristic resistance	$N_{Rk,s}$	[kN]	$A_s \cdot f_{uk}$							
Partial factor grade 5.8, 8.8	$\gamma_{Ms,N}^{1)}$	[-]	1,5							
Partial factor HAS-U A4, HIT-V-R	$\gamma_{Ms,N}^{1)}$	[-]	1,87						2,86	
Partial factor HAS-U HCR, HIT-V-HCR	$\gamma_{Ms,N}^{1)}$	[-]	1,5						2,1	
Installation factor										
Hammer drilling	γ_{inst}	[-]	1,0							
Hammer drilling with Hilti hollow drill bit TE-CD or TE-YD	γ_{inst}	[-]	2)	1,0						
Diamond coring	γ_{inst}	[-]	1,2				1,4			
Diamond coring with roughening with Hilti Roughening tool TE-YRT	γ_{inst}	[-]	2)				1,0			
Hammer drilling in water-filled drill holes	γ_{inst}	[-]	1,4							
Concrete cone failure										
Factor for cracked concrete	$k_{cr,N}$	[-]	7,7							
Factor for uncracked concrete	$k_{ucr,N}$	[-]	11,0							
Edge distance	$c_{cr,N}$	[mm]	$1,5 \cdot h_{ef}$							
Spacing	$s_{cr,N}$	[mm]	$3,0 \cdot h_{ef}$							
Splitting failure										
Edge distance $c_{cr,sp}$ [mm] for	$h / h_{ef} \geq 2,0$		$1,0 \cdot h_{ef}$							
	$2,0 > h / h_{ef} > 1,3$		$4,6 \cdot h_{ef} - 1,8 \cdot h$							
	$h / h_{ef} \leq 1,3$		$2,26 \cdot h_{ef}$							
Spacing	$s_{cr,sp}$	[mm]	$2 \cdot c_{cr,sp}$							

$N_{Rk,c} =$	299.97	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$s_{cr,N} =$	990.00	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$c_{cr,N} =$	495.00	mm	Distanza tra connettore e bordo cono
$A_{c,N}^0 =$	980100	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato_ senza riduzione di cono (Schema 0)
$A_{c,N} =$	290000	mm ²	Caso di Trazione su 4 bulloni (schema 1)
$A_{c,N} =$	290000	mm ²	Caso di trazione solo sui 2 bulloni lato sbalzo (schema 2)
$A_{c,N} =$	290000	mm ²	Caso di trazione solo sui 2 bulloni lato interno (carreggiata) (schema 3)
Schema traz	1		schema in base a quali bulloni lavorano a trazione (scegli 0,1,2,3)
$A_{c,N} =$	290000.0	mm ²	Area scelta in base al caso selezionato
$\Psi_{s,N} =$	0.72		Fattore correttivo per distribuzione delle sollecitazioni nel cls
E' presente armatura?	NO		Indicare "si" se è presente staffa cordolo con int >150mm (qualsiasi diametro) o con diametro <10mm e int >100mm
$\Psi_{re,N} =$	1.00		Fattore correttivo per presenza armature
$e_N =$	0.00	mm	Eccentricità tra baricentro tirafondi tesi e risultante degli sforzi di trazione
$\Psi_{ec,N} =$	1.00		Fattore correttivo per eccentricità carico
$\Psi_{ucr,N} =$	1.00		Fattore correttivo per cls fessurato (=1 se cls fessurato, =1.4 se non fessurato)
$N_{Rk,c} =$	64.3	kN	Resist. caratteristica per rottura del cono di cls
$N_{Rd,c} =$	64.3	kN	Resist. di progetto per rottura del cono di cls
c.s. =	-2.58		OK -AZIONE ASSORB TUTTA DA ST, INTEGRAT

Rottura per splitting (fessurazione)

Se è presente un armatura intorno al gruppo che limita le fessure a $w \leq 0,3$, si può omettere la verifica
 E' presente armatura che limita le fessure a 0.3mm con $F = 0.5 \times N_{Ed}$?



As,min=	0.74	cm ²	Armatura minima necess x confinamento gruppo (Ec2-p4 par. 6.2.6.2 punto b))
N _{Ed} =	33.4	kN	Azione di trazione sollecitante il singolo tirafondo
h/h _{ef} =	1.42		rapporto altezza totale - h tirafondi
C _{cr,sp} =	672	mm	Distanza tra connettore e bordo cono formule derivate da scheda Hilti
s _{cr,sp} =	1344	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
A _{0c,N} =	1806336	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato (Schema 0)
A _{c,N} =	342500	mm ²	Area influenza Caso Trazione su 4 bulloni (schema 1)
A _{c,N} =	342500	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato sbalzo (schema 2)
A _{c,N} =	342500	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato interno (carreggiata) (schema 3)
A _{c,N} =	342500	mm ²	Area influenza, scelta in base al caso scelto
Y _{s,N} =	0.72		Fattore correttivo distribuzione sollecitazioni nel cls (aumenta maggiori sono c2,2 e c2,4)
Y _{re,N} =	1.00		Fattore correttivo per presenza armature
Y _{ec,N} =	1.00		Fattore correttivo per eccentricità carico
d ₀ =	26.00	mm	diametro foro
h _{min} =	382.0	mm	Spessore minimo(vedi tabella ancorante a lato)
Y _{h,sp} =	1.15		Fattore correttivo per influenza spessore reale
NR _{k,sp} =	0.0	kN	Resist. caratteristica per rottura per splitting
NR _{d,sp} =	0.0	kN	Resist. di progetto per rottura per splitting
c.s.=	100.00		OK -AZIONE ASSORB TUTTA DA ST, INTEGRAT

Table B2: Installation parameters of threaded rod and HIT-V-... and AM 8.8

Threaded rod and HIT-V-... AM 8.8	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Diameter of element d [mm]	8	10	12	16	20	24	27	30
Nominal diameter of drill bit d ₀ [mm]	10	12	14	18	22	28	30	35
Effective embedment depth and drill hole depth h _{ef} = h ₀ [mm]	60 to 160	60 to 200	70 to 240	80 to 320	90 to 400	96 to 480	108 to 540	120 to 600
Maximum diameter of clearance hole in the fixture ¹⁾ d _f [mm]	9	12	14	18	22	26	30	33
Thickness of Hilti filling set h _{fs} [mm]	-	-	-	11	13	15	-	-
Effective fixture thickness with Hilti filling set t _{fix,eff} [mm]	t _{fix,eff} = t _{fix} + h _{fs}							
Minimum thickness of concrete member h _{min} [mm]	h _{ef} + 30 ≥ 100 mm			h _{ef} + 2·d ₀				
Maximum torque moment T _{max} [Nm]	10	20	40	80	150	200	270	300
Minimum spacing s _{min} [mm]	40	50	60	75	90	115	120	140
Minimum edge distance c _{min} [mm]	40	45	45	50	55	60	75	80

Rottura combinata di pull-out e formazione cono

N _{Ed} =	-24.9	kN	Azione di trazione sollecitante il gruppo di tirafondi
N ⁰ _{Rk,p} =	250.56	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
s _{cr,Np} =	540.22	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
C _{cr,Np} =	270.11	mm	Distanza tra connettore e bordo cono
A ⁰ _{p,Np} =	291840	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato
A _{p,Np} =	177556	mm ²	Area influenza Caso Trazione su 4 bulloni (schema 1)
A _{p,Np} =	177556	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato sbalzo (schema 2)
A _{p,Np} =	177556	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato interno (carreggiata) (schema 3)
A _{p,Np} =	177556	mm ²	Area influenza, scelta in base al caso scelto
Ψ _{s,Np} =	0.74		Fattore correttivo per distribuzione delle sollecitazioni nel cls
Ψ _{ec,Np} =	1.00		Fattore correttivo per eccentricità carico



$\Psi_{re,Np} =$	1.00		Fattore correttivo per presenza armature
$\Psi_{g,Np}^0 =$	1.07		
$\Psi_{g,Np} =$	1.04		Fattore correttivo per superficie rottura
$N_{Rk,c} =$	118.02	kN	Resist. caratteristica per rottura pullout-cono di cls
$N_{Rd,c} =$	118.02	kN	Resist. di progetto per rottura pullout-cono di cls
c.s. =	-4.75		OK - AZIONE ASSORB TUTTA DA ST, INTEGRAT

MODALITA' DI ROTTURA A TAGLIO

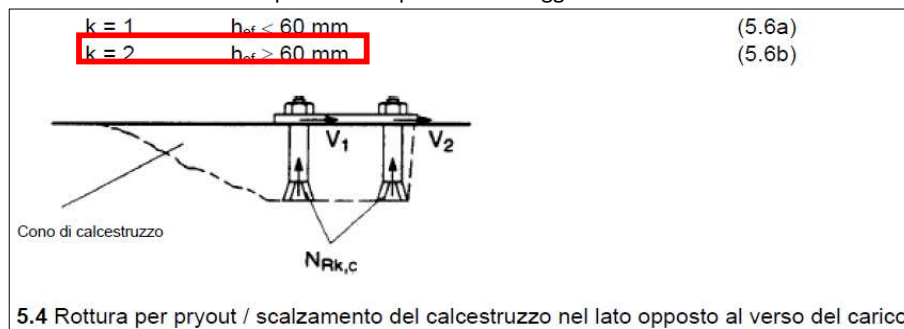
$V_{Ed} =$	7.21	kN	Azione di taglio sollecitante il singolo tirafondo
------------	------	----	--

Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)

$V_{Rk,s} =$	141.2	kN	Resist. caratteristica per rottura acciaio
$V_{Rd,s} =$	141.2	kN	Resist. di progetto per rottura acciaio
c.s. =	19.57		VER.OK

Rottura per pry-out (scalzamento del cls)

$V_{Ed} =$	28.85	kN	Taglio del gruppo
$k =$	2		dipende dalla prof di ancoraggio



$V_{Rk,cp} =$	128.6	kN	Resist. caratteristica per rottura per pryout del gruppo
$V_{Rd,cp} =$	128.6	kN	Resist. di progetto per rottura per pryout
c.s. =	4.46		VER.OK

Rottura del bordo di calcestruzzo

Possibile omettere verifica?

NO

Se distanza dal bordo $> 10 \cdot h_{ef}$ è possibile omettere verifica

N.B.: La verifica riguarda i due tirafondi vicino al bordo esterno

$V_{Ed} =$	28.85	kN	
$c_1 =$	210	mm	dist tir-bordo lato vuoto
$k_1 =$	1.7		Costante = 1.7
$\alpha =$	0.125		
$\beta =$	0.065		
$V_{Rk,c}^0 =$	72.9	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$A_{cv}^0 =$	198450	mm ²	Area di base del cono per un singolo ancorante (Caso Schema 0)
$A_{cv} =$	252000	mm ²	Area effettiva del cono di cls (Casi Schemi 0,1,2 e 3)
$A_{cv} =$	252000		Area effettiva del cono di cls in base al caso scelto
$\Psi_{s,v} =$	1.00		Fattore per influenza ulteriori bordi
$\Psi_{h,v} =$	1.00		Fattore per spessore elemento
$\Psi_{\alpha,v} =$	1.00		Fattore per inclinazione carico
$e_v =$	10	mm	Eccentricità tra baricentro tirafondi e azione di taglio



$\Psi_{ec,V} =$	0.97		Fattore correttivo per eccentricità carico
Condizioni cordolo:	Cls fessurato senza armatura di bordo		
$\Psi_{re,V} =$	1.00		Fattore correttivo per condizioni cls e armatura
$V_{Rk,c} =$	89.7	kN	Resist. caratteristica per rottura del bordo del cls
$V_{Rd,c} =$	89.7	kN	Resist. di progetto per rottura del bordo del cls
c.s. =	3.11		VER.OK

ROTTURA COMBINATA TAGLIO-TRAZIONE

$$\beta_N = N_{Ed} / N_{Rd}$$

$$\beta_V = V_{Ed} / V_{Rd}$$

$$\beta_{N,MAX} = 0.11$$

$$\beta_{V,MAX} = 0.32$$

$$\beta_{N,MAX} + \beta_{V,MAX} = 0.43 < 1.2$$

$$\alpha = 1.5$$

$$\beta_{N,MAX}^\alpha + \beta_{V,MAX}^\alpha = 0.22 < 1.0$$

VER.OK

VER.OK



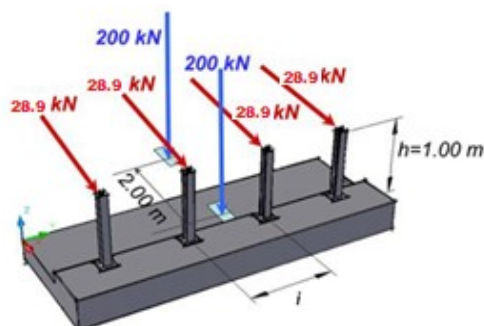
6.1.1 Verifica cordolo porta barriera

Azioni su cordolo

$i =$

1.50 m

Interasse
paletti



$F_{urto} =$ 28.9 kN

Forza urto applicata a quota cerniera plastica

$M_{urto, tirafondi} =$ 26.8 kNm

Momento indotto da urto amplificato e trasportato alla base dei tirafondi

$T_{v, cord} =$ 1.65 kN/m

Azioni sul cordolo - Taglio verticale

$T_{h, cord} =$ 15.25 kN/m

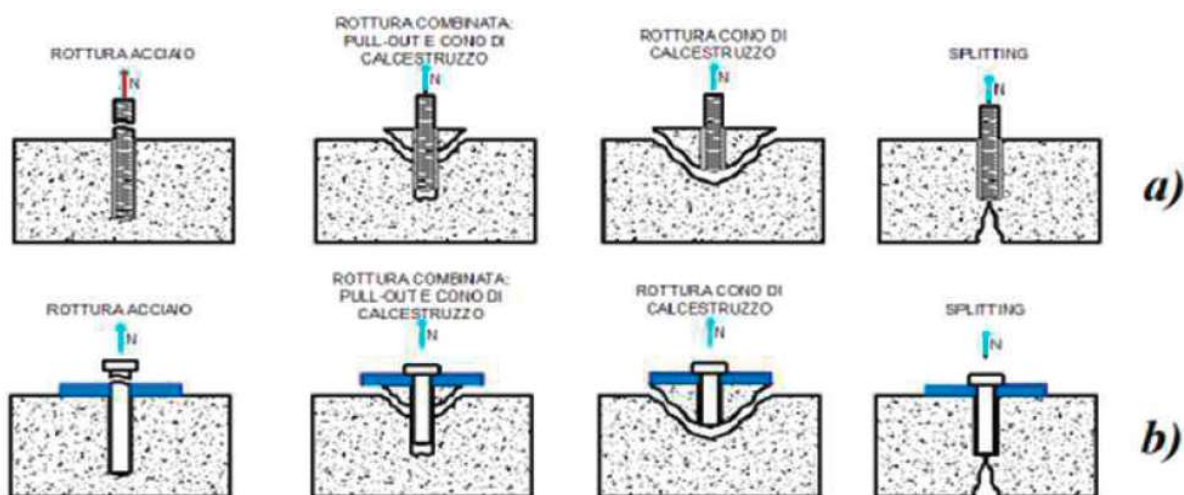
Azioni sul cordolo - Taglio orizzontale

$M_{cord} =$ 14.18 kNm/m

Azioni sul cordolo - momento
torcente

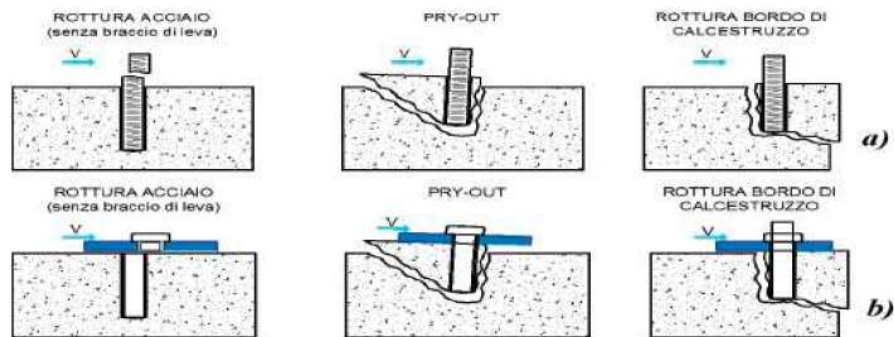
Di seguito si riportano le verifiche di:

- Ribaltamento (Trazione connettori), di seguito si riportano le rotture considerate;

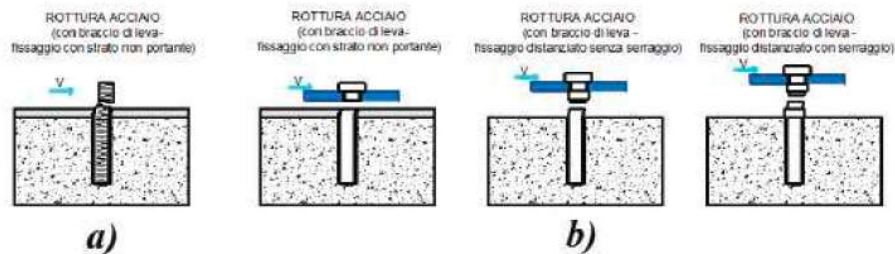


Modalità di rottura a trazione per ancoraggi con barre di armatura a) e con barre filettate b).

- Ribaltamento (Taglio connettori), di seguito si riportano le rotture considerate;



Modalità di rottura a taglio per ancoraggi con barre di armatura a) e con barre filettate b).



Modalità di rottura a taglio lato acciaio in presenza di braccio di leva per ancoraggi con barre di armatura a) e con barre filettate b).

- Ribaltamento (Rottura combinata Taglio-Trazione);
- Scorrimento interfaccia cordolo soletta;
- Flessione e taglio cordolo.

VERIFICA A RIBALTAMENTO (TRAZIONE CONNETTORI)

$M_{Ed} = 14.2$ kNm/m Momento ribaltante al metro
 $L = 1.0$ m Tratto di cordolo considerato

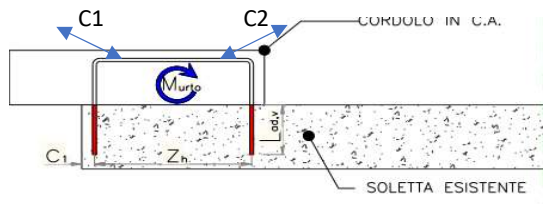


Figura 19 - Schema di calcolo a ribaltamento

Considerare ulteriore diffusione con angolo cono di rottura?

$\alpha = 1.6$ rad = 90.0
 $L_{ext} = 0.0$ cm Tratto esterno aggiuntivo x lato
 $M_{ed} = 14.2$ kNm/m Momento ribaltante al metro con allargamento zona di diffusione
Schema **CASO A** Caso A o Caso B
 $B_{cord, ante} = 60$ cm Larghezza cordolo ante operam (se cord è nuovo metti come Bprog)
 $B_{cord, p} = 25$ cm Larghezza cordolo di progetto
 $\Delta B_{cordolo} = -35.0$ cm Allargamento cordolo verso esterno
 $C_1 = 5$ cm Distanza tra barra esterna e bordo LATO SBALZO
 $C_2 = 5$ cm Distanza tra barra INTERNA LATO STRADA
 $Z_h = 50.0$ cm Dist tra braccia staffa ad U
 $f_{yd} = 450$ N/mm²



$\phi_{\text{barre}} =$	12	mm	Diametro staffe ad U (scelte in foglio ver loc Etag)
$s =$	20	cm	Passo delle staffe ad U
$n_{\text{barre}} =$	5.0		Numero di staffe ad U al metro
$N_{\text{Ed}} =$	5.7	kN	Azione di trazione su singola barra
$\phi_{\text{min}} =$	1.8	mm	Diametro barre OK
$R_{\text{ck, soletta}} =$	20	N/mm ²	Resistenza cubica caratteristica soletta
$S_{\text{sol}} = h =$	220.0	mm	Spessore soletta sottostante su cui si ancora il nuovo cordolo
$L_{\text{ad,v}} = h_{\text{ef}} =$	100	mm	Lunghezza ancoraggio dei ferri ad U nella soletta

VERIFICA A TRAZIONE CONNETTORI

Rottura acciaio

$N_{\text{ed,agg}} =$	31.4	kN	Azione di trazione aggiuntiva x ricucitura cono in "verifiche locali etag"
$N_{\text{ed,tot}} =$	37.1	kN	Azione di trazione totale agente su una staffa
$N_{\text{Rd,s}} =$	50.87	kN	Resist. di progetto per rottura dell'acciaio
c.s. =	1.37	VER. OK	

Rottura per sfilamento barra

In caso di ancorante chimico noto:

$\tau_{\text{Rk,cr,C20/25}} =$	9.5	N/mm ²	Resist. carat. cls fessurato (da scheda ANCORANTE VEDI CASO BARRE)
$\Psi_c =$	1.06		Fattore amplificativo per cls diversi da C20/25 (vedi tabella a lato)

dip. da scheda ETA	
Rck mix sol-cord	Ψ_c
C 25/30	1.02
C 30/35	1.04
C 32/40	1.05
C 40/45	1.06
C 45/50	1.07
C 50/55	1.08
C 55/60	1.09

$N_{\text{Rk,s}} =$	50.62	kN	Resist. caratteristica a sfilamento (si utilizza diam foro)
$N_{\text{Rd,s}} =$	50.62		Resist. di progetto a sfilamento (ancorante noto)
c.s. =	8.92	VER. OK	

Rottura del cono di cls

$N_{\text{Rk,c}}^0 =$	32.2	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$S_{\text{cr,N}} =$	300.0	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$C_{\text{cr,N}} =$	150.0	mm	Distanza tra connettore e bordo cono (formule derivate da scheda Hilti)
$A_{\text{c,N}}^0 =$	90000	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato
$A_{\text{c,N}} =$	60000	mm ²	Area effettiva del cono di un singolo ancorante
$\Psi_{\text{s,N}} =$	1.00		coeff distrib non uniforme delle sollecitazioni
$\Psi_{\text{re,N}} =$	1.00		coeff tiene conto effetto armatura



$\Psi_{ec,N}$			
=	1		coeff tiene conto eccentricità del carico
$\Psi_{ucr,N}$			
=	1		Fattore correttivo per cls fessurato (=1 se cls fessurato, =1.4 se non fessurato)
$N_{Rd,c}$			
=	21.5	kN	Resist. di progetto per rottura del cono di cls
c.s. =	3.78	VER. OK	

Rottura per splitting (fessurazione)

h/h_{ef}			
=	2.20		rapporto altezza totale - h tirafondi
$C_{cr,sp}$			
=	100.0		Distanza tra connettore e bordo cono formule derivate da scheda Hilti
$S_{cr,sp}$	200.0		Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$A_{c,N}^0$	40000.		
=	0		Area influenza del cono singolo ancorante isolato - caso 4 bulloni
	40000.		
$A_{c,N}$	0		Area effettiva del cono
$\Psi_{s,N}$	1.0		coeff distrib non uniforme delle sollecitazioni
d_0	14.0	mm	diametro foro
h_{min}	130.0	mm	Vedi tabella da scheda ETA (valore minimo che soddisfa la ver automatic se hperforo=2hmin)
$\Psi_{h,sp}$			
=	1.33		coeff influenza spessore reale
$N_{Rs,sp}$			
=	42.9	kN	Resist. di progetto per rottura per splitting
c.s. =	7.57	VER. OK	

Rottura combinata di pull-out e formazione cono

τ_{rk}	9.5	N/mm ²	Resistenza di adesione per cls fessurato (vedi scheda ETA ferri armatura)
Ψ_c	1.1		Fattore correttivo per cls diversi da C20/25
$N_{Rk,p}^0$			
=	38.0	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$S_{cr,Np}$			
=	278.1	mm	Interasse della resist. di un singolo ancorante x pullout-cono
$C_{cr,Np}$			
=	139.0	mm	Distanza tra connettore e bordo cono formule derivate da scheda Hilti
$A_{c,Np}^0$			
=	77338	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato
$A_{c,Np}$	55619.		
=	3	mm ²	Area effettiva del cono di un singolo ancorante
$\Psi_{s,Np}$			
=	1.00		coeff distrib non uniforme delle sollecitazioni
$\Psi_{re,Np}$			
=	1.00		coeff tiene conto effetto armatura
$\Psi_{ec,Np}$			
=	1.00		coeff tiene conto effetto gruppo
$\Psi_{g,Np}^0$			
=	1.0		
$\Psi_{g,Np}$			
=	1.00		Fattore correttivo per superficie rottura
$N_{Rd,p}$			
=	27.3	kN	Resist. di progetto per rottura pullout-cono cls
c.s. =	4.81	VER. OK	



VERIFICA A TAGLIO CONNETTORI

Si ipotizza che l'aderenza tra soletta e cordolo sia nulla

$V_{Ed,tot}$

= 15.25 kN Azione di taglio sul gruppo

$V_{Ed,1}$

= 3.05 kN Azione di taglio su singola barra (si assegna il taglio alla barra lato strada)

Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)

$V_{Rd,s}$

= 30.5 kN Resist. di progetto per rottura acciaio singolo ancorante

c.s. = 10.01

Rottura per pryout (scalzamento del cls)

k= 2

$V_{Rd,cp}$

= 42.93 kN Resist. di progetto per rottura acciaio

c.s. = 14.08

Rottura del bordo di calcestruzzo

$V_{Rk,c}^0$

= 3.77 kN Valore iniziale della resistenza caratteristica

c_1 = 50.00 mm Dist. minima dal bordo del ferro ad U (Caso A metti C1, caso B metti (Bcord,ante-C2), caso B con coll dell'allargam AL CORD ESISTENTE metti (Bcord,post-C2))

A_{cv}^0 = 11250 mm² Area di base del cono per un singolo ancorante

A_{cv} = 86250 mm² Area effettiva del cono di cls

$\Psi_{s,v}$ = 1.00

$\Psi_{h,v}$

= 1.00

$\Psi_{\alpha,v}$

= 1.00

$\Psi_{ec,v}$

= 1.00

Condizioni

cordolo: Cls fessurato con armatura di bordo ($f > 12$ mm)

$\Psi_{ucr,v}$

= 1.20

$V_{Rk,c}$ = 34.65 kN

c.s. = 2.27 VER.
OK

ROTTURA COMBINATA TAGLIO-TRAZIONE

$\beta_N = N_{Ed} / N_{Rd}$

$\beta_V = V_{Ed} / V_{Rd}$

$\beta_{N,MA}$

x = 0.73

$\beta_{V,MAX}$

= 0.44

$\beta_{N,MAX} + \beta_{V,MAX}$

= 1.17 < 1.2

α =

$\beta_{N,MAX}^\alpha +$

$\beta_{V,MAX}^\alpha = 0.91 < 1.0$

VER.OK

VER.OK



Valori di α compresi tra
1.5 e 2

VERIFICA SCORRIMENTO INTERFACCIA CORDOLO-SOLETTA

La verifica è condotta secondo l'approccio riportato al paragrafo 6.2.5 dell'Eurocodice 2

$V_{Ed} = 15.25$ kN/m Azione di taglio sollecitante per metro di cordolo

$\beta = 1$ Coeff.

$v_{Ed} = 0.061$ N/mm² Tensione tangenziale all'interfaccia

$f_{cd} = 35.05$ N/mm² Resist. cilindrica a compressione di progetto

$f_{ctd} = 2.25$ N/mm² Resist. a trazione di progetto

$f_{yd} = 450.00$ N/mm² Resist. di progetto a trazione acciaio

$N = 3.21$ kN/m Carico verticale al metro lineare

$\sigma_n = 0.357$ N/mm² Tensione generata dai carichi verticali

Scabrezza
interfaccia: **liscia**

$c = 0.2$ Fattore in funzione della scabrezza

$\mu = 0.60$ Fattore in funzione della scabrezza

$A_s = 1131$ mm² Area delle staffe ad U a metro

$A_i = 250000$ mm² Area superficie di interfaccia

$\rho = 0.0045$

$\rho = 2$ Rapporta tra A_s e A_i

0.5158

$v = 8$

$\alpha = 90^\circ =$

1.57080 rad

Inclinazione sup. di
getto (compreso tra
45° e 90°)

$V_{Rdi} = 1.885$ N/mm²

c.s. = 30.92 **VER. OK**

VERIFICA FLESSIONALE

SEZIONE CORDOLO

In tale verifica l'armatura è rappresentata dalle staffe ad U inserite per collegare il cordolo alla soletta esistente. La verifica viene condotta per una sezione larga un metro.

$M_{Ed} = 14.2$ kNm/m Momento flettente

$A_s = 565$ mm² Area armatura tesa

$M_{Rd} = 125.96$ kNm/m Momento resistente

$M_{Rd(-)},st,int = 15.56$ kNm/m Momento resistente

c.s. = 7.79 **VER. OK**



6.2 Barriera lato valle

6.2.1 Verifica cordolo porta barriera (nuova barriera)

Come riportato nel paragrafo “7.3 Analisi dei carichi: Urto veicolo in svio”, il calcolo degli ancoraggi delle barriere viene effettuato considerando le azioni orizzontali equivalenti ottenute a partire dalle resistenze caratteristiche dei montanti, amplificate di 1.50 volte. Tale approccio è possibile in quanto si conosce già in fase progettuale la tipologia di barriera che sarà installata. Le azioni che si ottengono alla base del paletto sono:

$H_{urto} = 28.9$ kN (Forza orizzontale)

$M_{urto} = 26.8$ kNm (Momento)

Il momento di plasticizzazione genera una forza di trazione sui tirafondi, che può essere determinata applicando la teoria elastica e assumendo le seguenti ipotesi:

- la piastra di ancoraggio resta piana;
- gli elementi di ancoraggio hanno tutti la stessa rigidezza;
- gli elementi di ancoraggio non contribuiscono all'equilibrio se sono compressi.

Per determinare la forza di trazione è necessario conoscere la geometria della piastra di ancoraggio e la posizione degli ancoraggi. Per tale barriera l'ancoraggio avviene tramite 1 tirafondo M24 ($A=4.52\text{cm}^2$, $A_{res}=3.53\text{cm}^2$). Al fine di prevenire la rottura del cono di calcestruzzo, verranno inseriti dei ferri $\phi 14/20$ cm, che attraversano la potenziale superficie di rottura del cono e che ne impediscono la formazione.

Secondo quanto riportato la capitolo 3 delle NTC 2018, per le verifiche dei cordoli e degli ancoraggi è stata considerata una condizione di carico eccezionale nella quale alla forza d'urto su sicurvia si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dal Secondo Schema di Carico, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.

L'azione di urto di veicolo in svio è un'azione eccezionale, per cui i carichi agenti devono essere combinati secondo la combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + A_d + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

In cui:

- G_1 sono i carichi permanenti strutturali;
- G_2 sono i carichi permanenti portati;
- A_d è l'azione eccezionale (urto);
- Q_{ki} sono i carichi accidentali.

Inoltre, secondo quanto riportato al §4.1.4 delle NTC2018, le resistenze di calcolo riferite ad una condizione di carico eccezionale si ottengono utilizzando coefficienti parziali di sicurezza unitari, cioè $\gamma_c=1.0$ e $\gamma_s=1.0$.

Il nuovo cordolo che ospiterà le barriere bordo ponte sarà realizzato in calcestruzzo armato C35/45.

Le verifiche degli ancoraggi sono state condotte secondo le “ETAG 001-1997: Linea guida per il benessere tecnico europeo di ancoranti metallici da utilizzare nel calcestruzzo – Allegato C: Metodi di progettazione degli ancoraggi”. In particolare sono state condotte verifiche a trazione (rottura del connettore, rottura conica del calcestruzzo, rottura per sfilamento e rottura per splitting), a taglio (rottura del connettore, rottura del bordo e rottura per pry-out) e verifiche per rottura combinata taglio-trazione.

trazione.

DATI DI PROGETTO

Materiali



Ancoranti:	cl8.8		
$f_{yk} =$	640	N/mm ²	Res. caratteristica di snervamento
$f_{uk} =$	800	N/mm ²	Res. caratteristica di rottura
Calcestruzzo:	pers		
$f_{ck} =$	35.1	N/mm ²	Res. caratteristica cilindrica a compressione
$R_{ck} =$	42.2	N/mm ²	Res. caratteristica cubica a compressione
$f_{ctk} =$	2.25	N/mm ²	Res. caratteristica a trazione
$f_{bd} =$	5.06	N/mm ²	Aderenza Cls-acciaio
Armatura lenta: B450C			
$f_{yk} =$	450	N/mm ²	Res. caratteristica di snervamento
$f_{uk} =$	540	N/mm ²	Res. caratteristica di rottura

Caratteristiche geometriche

Ancorante

$d_{nom} =$	24	mm	Diametro nominale tirafondo
$A =$	452	mm ²	Area tirafondo
$A_{res} =$	353	mm ²	Area resistente tirafondo
$h_{eff} =$	330	mm	Profondità effettiva ancoraggio

Cordolo e soletta

$B_{cord} =$	25	cm	Larghezza cordolo
$H_{cord} =$	25	cm	Altezza cordolo
$S_{sol} =$	22	cm	Spessore soletta sottostante su cui si ancora il nuovo cordolo
$L_{sbalzo} =$	0.9	cm	Dimensioni sbalzo (da asse trave laterale inclusa larghezza cordolo)

Collegamento di base barriera

$B_{piastra} =$	25	cm	Dimensione piastra - lato parall al senso di marcia
$H_{piastra} =$	30	cm	Dimensione piastra - lato ort al senso di marcia
$n_h =$	2		Numero tirafondi orizzontali relativo ad una sola riga (paralleli senso marcia)
$n_v =$	1		Numero tirafondi verticali relativo ad una sola colonna (ortogonali senso marcia)
$n_{tot} =$	2.0		Numero totale di tirafondi
$S_1 =$	17	cm	Interasse tirafondi orizzontali parallelo senso marcia (caso singolo tirafondo=0)
$C_1 =$	4.0	cm	Distanza dal bordo piastra (parallela senso marcia)
$S_2 =$	0	cm	Int. tirafondi verticali (SE CI SONO SOLO TIR IN ZONA TESA METTI 0)
$C_2 =$	24.5	cm	Distanza dal bordo piastra (ortogonale senso marcia) (distanza minima)
$C_{2,2} =$	4	cm	Distanza dei tirafondi tesi dal bordo interno del cordolo
$C_{2,3} =$	21	cm	Distanza dei tirafondi tesi dal bordo esterno del cordolo
$C_{2,4} =$	21	cm	Distanza dei tirafondi compressi (o piu esterni) dal bordo esterno del cordolo
$C_{1,2} =$	60	cm	Distanza di un tirafondo dal bordo del cordolo parallelamente a senso di marcia - ultimo tirafondo a fine intervento

Azioni sollecitanti

$P_{sic} =$	1.50	kN/m	Peso barriera
-------------	------	------	---------------

Azioni su barriera

Azioni da Normativa:	Eurocodice
----------------------	------------



$M_{plast,bar} =$	14.6	kNm	Momento plastico trasmesso dal montante ($W_{pl} \times f_{yk}$ o da scheda barriera per verifica Eurocodice) SI PUO' FARE UTILIZZANDO W con frattile al 5%-l'incremento del frattile al 95% è conteggiato nell'incremento di 1,5. Bisogna determinare la classe della sezione e vedere se a flex puo' sviluppare un comportamento plastico classe 1-2 (prendi W_{pl}) oppure elastico classe è 3 o 4 (prendi W_{el})
$T_{bar} =$	0.0	kN	Taglio trasmesso dal montante (da scheda barriera per verifica Eurocodice) inserire 0 se non si conosce
$N_{bar} =$	33.4	kN	Azione max sul tirafondo teso (DA CALCOLO gelfi in fondo)
$h_{cp,p,viabile} =$	0.170	m	Altezza cerniera plastica da estradosso cordolo
$h_{c,c} =$	0.070		Altezza asfalto - estradosso cordolo
$F_{NTC} =$	100.0	kN	Forza urto secondo NTC2008
$h_{urto} =$	1.00	m	Quota urto secondo NTC2008 inserire il minimo tra ($H_{barr}-0.1$ m e 1 m)
$b_{f,int} =$	0.76	m	braccio forze (dist punto applic F a cerniera plastica)

In caso di verifica secondo Eurocodice, si amplificano le sollecitazioni di un fattore pari a 1.5 e si considera il momento di trasporto alla base dell'ancoraggio

$F_{urto} =$	28.9	kN	Forza urto applicata a quota cerniera plastica
$M_{urto,tirafondi} =$	26.8	kNm	Momento indotto da urto amplificato e trasportato alla base dei tirafondi

Azioni su singolo tirafondo

$N_{coll} =$	63.3	kN	Azione di trazione su singolo tirafondo (Positiva se trazione)
$n_{tir,taglio} =$	2.00		num tirafondi che resistono a taglio (escludi quelli in fori asolati in dir forza)
$V_{coll} =$	14.4	kN	Azione di taglio su singolo tirafondo

Di seguito si riporta la verifica completa dell'ancoraggio relativa a tutte le tipologie di rottura elencate in precedenza.

Le verifiche sono condotte considerando i carichi nella combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{i=2}^n \psi_{2i} Q_{ki}$$

Secondo il par.4.1.4 e 4.2.6, in caso di verifiche in combinazione eccezionale, le resistenze di calcolo dei materiali si ottengono con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

$\gamma_{Mc} =$	1.00	Calcestruzzo
$\gamma_{Ms} =$	1.00	Acciaio

MODALITA' DI ROTTURA A TRAZIONE

Rottura dell'acciaio

$N_{Ed} =$	63.3	kN	Azione di trazione sollecitante il singolo tirafondo
$N_{Rk,s} =$	282.4	kN	Resist. caratteristica per rottura dell'acciaio
$N_{Rd,s} =$	282.4	kN	Resist. di progetto per rottura dell'acciaio
c.s. =	4.46	VER.OK	

Armatura integrativa?

Ancorante chimico noto?

$\phi_{arm int} =$	12	mm	Diametro barre integrative
--------------------	----	----	----------------------------



$L_{min,10f} =$	120	mm	Lunghezza consigliata barre integrative a partire da sotto il cono di rottura, (consigliato 10fi)
$L =$	120	mm	Lunghezza barre integrative sotto il cono di rottura - minima necessaria (DA CALCOLO ARMATURA INTEGRATIVA)
$\tau_{Rk} =$	5.06	N/mm ²	Tensione aderenza
$n_{br-U} =$			nr braccia staffa U cordolo-soletta (se sfrutti la staffa trasversale presente puoi utilizzare un solo braccio è in zona tesa)
$n_{br-New} =$	2		nr braccia nuova staffa integrativa
$n_{staffe} =$	2		nr staffe integrative (utilizza = diametro della staffa ad U)
$N_{res} =$	91.57	kN	Azione di trazione assorbita da 1 staffe integrative
$N_{ed,agg} =$	16.55	kN	Trazione massima assorbita dal braccio teso staffa U

Rottura per sfilamento del tirafondo

Ancorante chimico
noto?

SI

$N_{gruppo} =$	126.7	kN	Azione sul gruppo
$N_{Ed} =$	63.3	kN	Azione di trazione sollecitante il singolo tirafondo

In caso di ancorante chimico
noto:

$\tau_{Rk,ucr,C20/25} =$	9	N/mm ²	Resist. carat. cls non fessurato (da scheda ANCORANTE VEDI CASO BARRE FILETTATE)
$\tau_{Rk,cr,C20/25} =$	9.5	N/mm ²	Resist. carat. cls fessurato (da scheda ANCORANTE VEDI CASO BARRE FILETTATE)
$\Psi_c =$	1.06		Fattore amplificativo per cls diversi da C20/25 (vedi tabella a lato)

dip. da scheda ETA	
Rck mix sol-cord	Ψ_c
C 25/30	1.02
C 30/35	1.04
C 37/40	1.05
C 40/45	1.06
C 45/50	1.07
C 50/55	1.08
C 55/60	1.09

$N_{Rk,s} =$	313.19	kN	Resist. caratteristica a sfilamento (si utilizza diam foro)
$N_{Rd,s} =$	313.19		Resist. di progetto a sfilamento (ancorante noto)

In caso di ancoraggio chimico non noto (barra immersa nel cls, vedi EC2 pto 8.4.4):

N.B.: Prevedere un ancorante con adesione di aderenza pari o superiore a f_{bd}

$\eta_2 =$	1.00		Coeff. funzione del diametro
$f_{bd} =$	5.06	N/mm ²	Tensione ultima di aderenza
$\sigma_{sd} =$	139.99	N/mm ²	Tensione di progetto del tirafondo
$l_{b,rqd} =$	165.97	mm	Lunghezza di ancoraggio necessaria di base
$l_{b,min} =$	240	mm	Lunghezza minima di ancoraggio
$\alpha_1 = \alpha_4 =$	1		Posti uguali ad 1 a favore di sicurezza
$l_{bd} =$	240.00	mm	Lunghezza di ancoraggio necessaria
c.s. =	4.95		VER.OK

Rottura del cono di calcestruzzo

$N_{Ed} =$	35.1	kN	Azione di trazione sollecitante il gruppo di tirafondi
------------	------	----	--



$k_1 =$

7.7

Costante PER cls FESSURATO

Table C1: Essential characteristics for threaded rods under tension load in concrete

Threaded rod, HAS-U-..., HIT-V-..., AM...8.8			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
For a working life of 50 and 100 years										
Steel failure										
Characteristic resistance	$N_{Rk,s}$	[kN]	$A_s \cdot f_{uk}$							
Partial factor grade 5.8, 8.8	$\gamma_{Ms,N}^{1)}$	[-]	1,5							
Partial factor HAS-U A4, HIT-V-R	$\gamma_{Ms,N}^{1)}$	[-]	1,87						2,86	
Partial factor HAS-U HCR, HIT-V-HCR	$\gamma_{Ms,N}^{1)}$	[-]	1,5						2,1	
Installation factor										
Hammer drilling	γ_{inst}	[-]	1,0							
Hammer drilling with Hilti hollow drill bit TE-CD or TE-YD	γ_{inst}	[-]	2)	1,0						
Diamond coring	γ_{inst}	[-]	1,2				1,4			
Diamond coring with roughening with Hilti Roughening tool TE-YRT	γ_{inst}	[-]	2)				1,0			
Hammer drilling in water-filled drill holes	γ_{inst}	[-]	1,4							
Concrete cone failure										
Factor for cracked concrete	$k_{cr,N}$	[-]	7,7							
Factor for uncracked concrete	$k_{ucr,N}$	[-]	11,0							
Edge distance	$c_{cr,N}$	[mm]	$1,5 \cdot h_{ef}$							
Spacing	$s_{cr,N}$	[mm]	$3,0 \cdot h_{ef}$							
Splitting failure										
Edge distance $c_{cr,sp}$ [mm] for	$h / h_{ef} \geq 2,0$		$1,0 \cdot h_{ef}$							
	$2,0 > h / h_{ef} > 1,3$		$4,6 \cdot h_{ef} - 1,8 \cdot h$							
	$h / h_{ef} \leq 1,3$		$2,26 \cdot h_{ef}$							
Spacing	$s_{cr,sp}$	[mm]	$2 \cdot c_{cr,sp}$							

$N_{Rk,c}^0 =$	299.97	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$s_{cr,N} =$	990.00	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$c_{cr,N} =$	495.00	mm	Distanza tra connettore e bordo cono
$A_{c,N}^0 =$	980100	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato_ senza riduzione di cono (Schema 0)
$A_{c,N} =$	290000	mm ²	Caso di Trazione su 4 bulloni (schema 1)
$A_{c,N} =$	290000	mm ²	Caso di trazione solo sui 2 bulloni lato sbalzo (schema 2)
$A_{c,N} =$	290000	mm ²	Caso di trazione solo sui 2 bulloni lato interno (carreggiata) (schema 3)
Schema traz	1		schema in base a quali bulloni lavorano a trazione (scegli 0,1,2,3)
$A_{c,N} =$	290000.0	mm ²	Area scelta in base al caso selezionato
$\Psi_{s,N} =$	0.72		Fattore correttivo per distribuzione delle sollecitazioni nel cls
E' presente armatura?	NO		Indicare "si" se è presente staffa cordolo con int >150mm (qualsiasi diametro) o con diametro <10mm e int >100mm
$\Psi_{re,N} =$	1.00		Fattore correttivo per presenza armature
$e_N =$	0.00	mm	Eccentricità tra baricentro tirafondi tesi e risultante degli sforzi di trazione
$\Psi_{ec,N} =$	1.00		Fattore correttivo per eccentricità carico
$\Psi_{ucr,N} =$	1.00		Fattore correttivo per cls fessurato (=1 se cls fessurato, =1.4 se non fessurato)
$N_{Rk,c} =$	64.3	kN	Resist. caratteristica per rottura del cono di cls
$N_{Rd,c} =$	64.3	kN	Resist. di progetto per rottura del cono di cls
c.s. =	1.83		VER.OK

Rottura per splitting (fessurazione)

Se è presente un armatura intorno al gruppo che limita le fessure a $w \leq 0,3$, si può omettere la verifica



E' presente armatura che limita le fessure a 0.3mm con $F = 0.5 \times N_{Ed}$?

$A_{s,min} =$	1.41	cm ²	Armatura minima necess x confinamento gruppo (Ec2-p4 par. 6.2.6.2 punto b))
$N_{Ed} =$	63.3	kN	Azione di trazione sollecitante il singolo tirafondo
$h/h_{ef} =$	1.42		rapporto altezza totale - h tirafondi
$c_{cr,sp} =$	672	mm	Distanza tra connettore e bordo cono formule derivate da scheda Hilti
$s_{cr,sp} =$	1344	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$A_{0c,N} =$	1806336	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato (Schema 0)
$A_{c,N} =$	342500	mm ²	Area influenza Caso Trazione su 4 bulloni (schema 1)
$A_{c,N} =$	342500	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato sbalzo (schema 2)
$A_{c,N} =$	342500	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato interno (carreggiata) (schema 3)
$A_{c,N} =$	342500	mm ²	Area influenza, scelta in base al caso scelto
$Y_{s,N} =$	0.72		Fattore correttivo distribuzione sollecitazioni nel cls (aumenta maggiori sono c2,2 e c2,4)
$Y_{re,N} =$	1.00		Fattore correttivo per presenza armature
$Y_{ec,N} =$	1.00		Fattore correttivo per eccentricità carico
$d_0 =$	26.00	mm	diametro foro
$h_{min} =$	382.0	mm	Spessore minimo(vedi tabella ancorante a lato)
$Y_{h,sp} =$	1.15		Fattore correttivo per influenza spessore reale
$NR_{k,sp} =$	0.0	kN	Resist. caratteristica per rottura per splitting
$NR_{d,sp} =$	0.0	kN	Resist. di progetto per rottura per splitting
$c.s. =$	100.00		VER.OK

Table B2: Installation parameters of threaded rod and HIT-V... and AM 8.8

Threaded rod and HIT-V... AM 8.8	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Diameter of element d [mm]	8	10	12	16	20	24	27	30
Nominal diameter of drill bit d ₀ [mm]	10	12	14	18	22	28	30	35
Effective embedment depth and drill hole depth h _{ef} = h ₀ [mm]	60 to 160	60 to 200	70 to 240	80 to 320	90 to 400	96 to 480	108 to 540	120 to 600
Maximum diameter of clearance hole in the fixture ¹⁾ d _f [mm]	9	12	14	18	22	26	30	33
Thickness of Hilti filling set h _{fs} [mm]	-	-	-	11	13	15	-	-
Effective fixture thickness with Hilti filling set t _{fix,eff} [mm]	t _{fix,eff} = t _{fix} + h _{fs}							
Minimum thickness of concrete member h _{min} [mm]	h _{ef} + 30 ≥ 100 mm			h _{ef} + 2·d ₀				
Maximum torque moment T _{max} [Nm]	10	20	40	80	150	200	270	300
Minimum spacing s _{min} [mm]	40	50	60	75	90	115	120	140
Minimum edge distance c _{min} [mm]	40	45	45	50	55	60	75	80

Rottura combinata di pull-out e formazione cono

$N_{Ed} =$	35.1	kN	Azione di trazione sollecitante il gruppo di tirafondi
$N_{0,Rk,p} =$	250.56	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$s_{cr,Np} =$	540.22	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$c_{cr,Np} =$	270.11	mm	Distanza tra connettore e bordo cono
$A_{0p,Np} =$	291840	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato
$A_{p,Np} =$	177556	mm ²	Area influenza Caso Trazione su 4 bulloni (schema 1)
$A_{p,Np} =$	177556	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato sbalzo (schema 2)
$A_{p,Np} =$	177556	mm ²	Area influenza Caso Trazione solo sui 2 bulloni lato interno (carreggiata) (schema 3)
$A_{p,Np} =$	177556	mm ²	Area influenza, scelta in base al caso scelto
$\Psi_{s,Np} =$	0.74		Fattore correttivo per distribuzione delle sollecitazioni nel cls



$\Psi_{ec,Np} =$	1.00		Fattore correttivo per eccentricità carico
$\Psi_{re,Np} =$	1.00		Fattore correttivo per presenza armature
$\Psi_{g,Np}^0 =$	1.07		
$\Psi_{g,Np} =$	1.04		Fattore correttivo per superficie rottura
$N_{Rk,c} =$	118.02	kN	Resist. caratteristica per rottura pullout-cono di cls
$N_{Rd,c} =$	118.02	kN	Resist. di progetto per rottura pullout-cono di cls
c.s. =	3.36		VER.OK

MODALITA' DI ROTTURA A TAGLIO

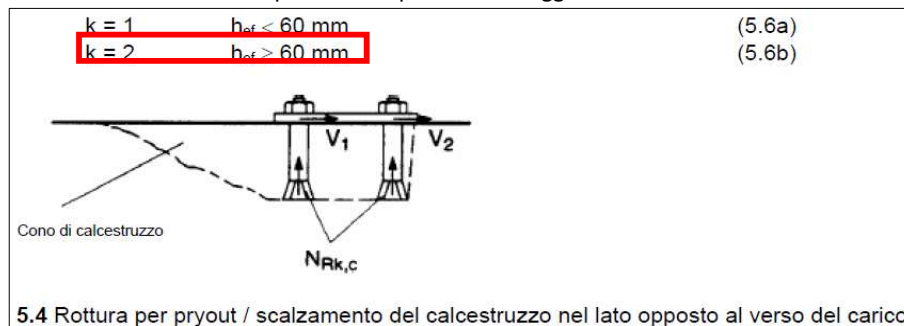
$V_{Ed} =$	14.43	kN	Azione di taglio sollecitante il singolo tirafondo
------------	-------	----	--

Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)

$V_{Rk,s} =$	141.2	kN	Resist. caratteristica per rottura acciaio
$V_{Rd,s} =$	141.2	kN	Resist. di progetto per rottura acciaio
c.s. =	9.79		VER.OK

Rottura per pry-out (scalzamento del cls)

$V_{Ed} =$	28.85	kN	Taglio del gruppo
$k =$	2		dipende dalla prof di ancoraggio



$V_{Rk,cp} =$	128.6	kN	Resist. caratteristica per rottura per pryout del gruppo
$V_{Rd,cp} =$	128.6	kN	Resist. di progetto per rottura per pryout
c.s. =	4.46		VER.OK

Rottura del bordo di calcestruzzo

Possibile omettere verifica?

NO

Se distanza dal bordo $> 10 \cdot h_{ef}$ è possibile omettere verifica

N.B.: La verifica riguarda i due tirafondi vicino al bordo esterno

$V_{Ed} =$	28.85	kN	
$c_1 =$	210	mm	dist tir-bordo lato vuoto
$k_1 =$	1.7		Costante ≈ 1.7
$\alpha =$	0.125		
$\beta =$	0.065		
$V_{Rk,c}^0 =$	72.9	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$A_{cv}^0 =$	198450	mm ²	Area di base del cono per un singolo ancorante (Caso Schema 0)
$A_{cv} =$	252000	mm ²	Area effettiva del cono di cls (Casi Schemi 0,1,2 e 3)
$A_{cv} =$	252000		Area effettiva del cono di cls in base al caso scelto
$\Psi_{s,v} =$	1.00		Fattore per influenza ulteriori bordi
$\Psi_{h,v} =$	1.00		Fattore per spessore elemento



$\Psi_{\alpha,V} =$	1.00		Fattore per inclinazione carico
$e_v =$	10	mm	Eccentricità tra baricentro tirafondi e azione di taglio
$\Psi_{ec,V} =$	0.97		Fattore correttivo per eccentricità carico
Condizioni cordolo:	Cls fessurato senza armatura di bordo		
$\Psi_{re,V} =$	1.00		Fattore correttivo per condizioni cls e armatura
$V_{Rk,c} =$	89.7	kN	Resist. caratteristica per rottura del bordo del cls
$V_{Rd,c} =$	89.7	kN	Resist. di progetto per rottura del bordo del cls
c.s. =	3.11		VER.OK

ROTTURA COMBINATA TAGLIO-TRAZIONE

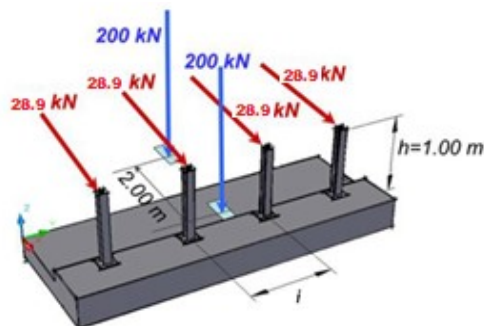
$\beta_N = N_{Ed} / N_{Rd}$			
$\beta_V = V_{Ed} / V_{Rd}$			
$\beta_{N,MAX} =$	0.55		
$\beta_{V,MAX} =$	0.32		
$\beta_{N,MAX} + \beta_{V,MAX} =$	0.87	<1.2	VER.OK
$\alpha =$	1.5		
$\beta_{N,MAX}^\alpha + \beta_{V,MAX}^\alpha =$	0.59	<1.0	VER.OK

6.2.2 Verifica cordolo porta barriera

Azioni su cordolo

$i =$ 2.25 m

Interasse
paletti



$F_{urto} =$ 28.9 kN

Forza urto applicata a quota cerniera plastica

$M_{urto, tirafondi} =$ 26.8 kNm

Momento indotto da urto amplificato e trasportato alla base dei tirafondi

$T_{v, cord} =$ 1.50 kN/m

Azioni sul cordolo - Taglio verticale

$T_{h, cord} =$ 14.95 kN/m

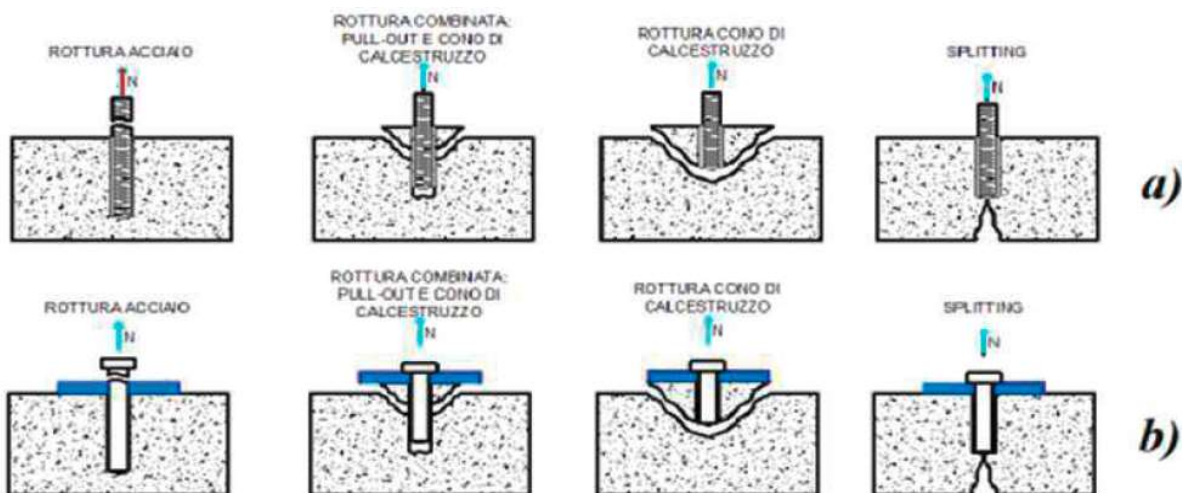
Azioni sul cordolo - Taglio orizzontale

$M_{cord} =$ 13.90 kNm/m

Azioni sul cordolo - momento
torcente

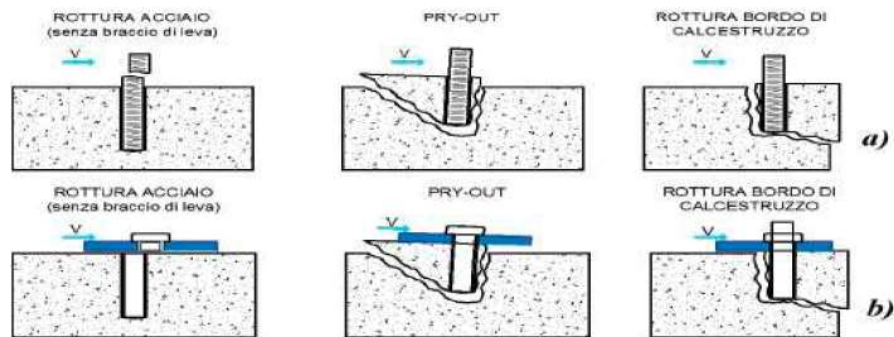
Di seguito si riportano le verifiche di:

- Ribaltamento (Trazione connettori), di seguito si riportano le rotture considerate;

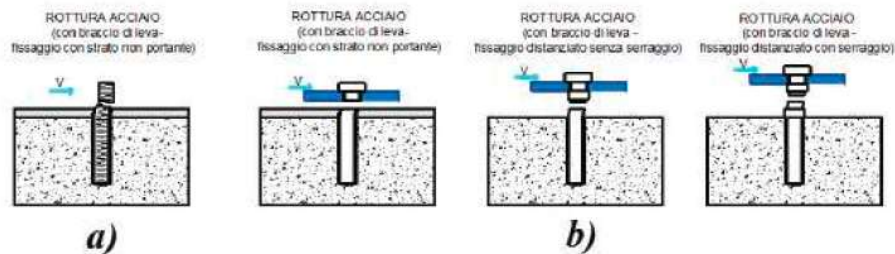


Modalità di rottura a trazione per ancoraggi con barre di armatura a) e con barre filettate b).

- Ribaltamento (Taglio connettori), di seguito si riportano le rotture considerate;



Modalità di rottura a taglio per ancoraggi con barre di armatura a) e con barre filettate b).



Modalità di rottura a taglio lato acciaio in presenza di braccio di leva per ancoraggi con barre di armatura a) e con barre filettate b).

- Ribaltamento (Rottura combinata Taglio-Trazione);
- Scorrimento interfaccia cordolo soletta;
- Flessione e taglio cordolo.

VERIFICA A RIBALTAMENTO (TRAZIONE CONNETTORI)

$M_{Ed} =$ 13.9 kNm/m Momento ribaltante al metro
 $L =$ 1.0 m Tratto di cordolo considerato

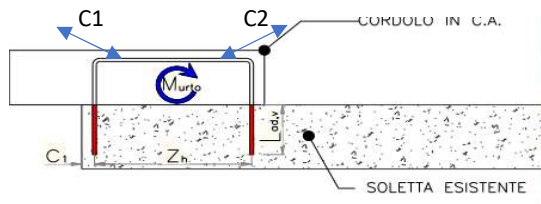


Figura 19 - Schema di calcolo a ribaltamento

Considerare ulteriore diffusione con angolo cono di rottura?

$\alpha =$ 1.6 rad = 90.0
 $L_{ext} =$ 0.0 cm Tratto esterno aggiuntivo x lato
 $M_{Ed}' =$ 13.9 kNm/m Momento ribaltante al metro con allargamento zona di diffusione
Schema **CASO A** Caso A o Caso B
 $B_{cord, ante} =$ 60 cm Larghezza cordolo ante operam (se cord è nuovo metti come Bprog)
 $B_{cord, p} =$ 25 cm Larghezza cordolo di progetto
 $\Delta B_{cordolo} =$ -35.0 cm Allargamento cordolo verso esterno
 $C_1 =$ 5 cm Distanza tra barra esterna e bordo LATO SBALZO
 $C_2 =$ 5 cm Distanza tra barra INTERNA LATO STRADA
 $Z_h =$ 50.0 cm Dist tra braccia staffa ad U



$f_{yd} =$	450	N/mm ²	
$\phi_{barre} =$	12	mm	Diametro staffe ad U (scelte in foglio ver loc Etag)
$s =$	20	cm	Passo delle staffe ad U
$n_{barre} =$	5.0		Numero di staffe ad U al metro
$N_{Ed} =$	5.7	kN	Azione di trazione su singola barra
$\phi_{min} =$	1.8	mm	Diametro barre OK
$R_{ck, soletta} =$	20	N/mm ²	Resistenza cubica caratteristica soletta
$S_{sol} = h =$	220.0	mm	Spessore soletta sottostante su cui si ancora il nuovo cordolo
$L_{ad,v} = h_{ef} =$	100	mm	Lunghezza ancoraggio dei ferri ad U nella soletta

VERIFICA A TRAZIONE CONNETTORI

Rottura acciaio

$N_{ed,agg} =$	16.6	kN	Azione di trazione aggiuntiva x ricucitura cono in "verifiche locali etag"
$N_{ed,tot} =$	22.1	kN	Azione di trazione totale agente su una staffa
$N_{Rd,s} =$	50.87	kN	Resist. di progetto per rottura dell'acciaio
c.s. =	2.30	VER. OK	

Rottura per sfilamento barra

In caso di ancorante chimico noto:

$\tau_{Rk,cr,C20/25} =$	9.5	N/mm ²
$\Psi_c =$	1.06	

Resist. carat. cls fessurato (da scheda ANCORANTE VEDI CASO BARRE)

Fattore amplificativo per cls diversi da C20/25 (vedi tabella a lato)

dip. da scheda ETA	
Rck mix sol-cord	Ψ_c
C 25/30	1.02
C 30/35	1.04
C 32/40	1.05
C 40/45	1.06
C 45/50	1.07
C 50/55	1.08
C 55/60	1.09

$N_{Rk,s} =$	50.62	kN	Resist. caratteristica a sfilamento (si utilizza diam foro)
$N_{Rd,s} =$	50.62		Resist. di progetto a sfilamento (ancorante noto)
c.s. =	9.10	VER. OK	

Rottura del cono di cls

$N_{Rk,c}^0 =$	32.2	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$S_{cr,N} =$	300.0	mm	Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$C_{cr,N} =$	150.0	mm	Distanza tra connettore e bordo cono (formule derivate da scheda Hilti)
$A_{c,N}^0 =$	90000	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato
$A_{c,N} =$	60000	mm ²	Area effettiva del cono di un singolo ancorante
$\Psi_{s,N} =$	1.00		coeff distrib non uniforme delle sollecitazioni
$\Psi_{re,N} =$	1.00		coeff tiene conto effetto armatura
$\Psi_{ec,N} =$	1		coeff tiene conto eccentricità del carico
$\Psi_{ucr,N} =$	1		Fattore correttivo per cls fessurato (=1 se cls fessurato, =1.4 se non fessurato)
$N_{Rd,c} =$	21.5	kN	Resist. di progetto per rottura del cono di cls
c.s. =	3.86	VER. OK	



Rottura per splitting (fessurazione)

$h/h_{ef} =$	2.20		rapporto altezza totale - h tirafondi
$C_{cr,sp} =$	100.0		Distanza tra connettore e bordo cono formule derivate da scheda Hilti
$S_{cr,sp} =$	200.0		Interasse per trasmissione della resist. di un singolo ancorante
$A_{c,N}^0 =$	40000.0		Area influenza del cono singolo ancorante isolato - caso 4 bulloni
$A_{c,N} =$	40000.0		Area effettiva del cono
$\Psi_{s,N} =$	1.0		coeff distrib non uniforme delle sollecitazioni
$d_0 =$	14.0	mm	diametro foro
$h_{min} =$	130.0	mm	Vedi tabella da scheda ETA (valore minimo che soddisfa la ver automatic se $h_{perforo}=2h_{min}$)
$\Psi_{h,sp} =$	1.33		coeff influenza spessore reale
$N_{Rs,sp} =$	42.9	kN	Resist. di progetto per rottura per splitting
c.s. =	7.72	VER. OK	

Rottura combinata di pull-out e formazione cono

$\tau_{rk} =$	9.5	N/mm ²	Resistenza di adesione per cls fessurato (vedi scheda ETA ferri armatura)
$\Psi_c =$	1.1		Fattore correttivo per cls diversi da C20/25
$N_{Rk,p}^0 =$	38.0	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$S_{cr,Np} =$	278.1	mm	Interasse della resist. di un singolo ancorante x pullout-cono
$C_{cr,Np} =$	139.0	mm	Distanza tra connettore e bordo cono formule derivate da scheda Hilti
$A_{c,Np}^0 =$	77338	mm ²	Area influenza del cono singolo ancorante isolato
$A_{c,Np} =$	55619.3	mm ²	Area effettiva del cono di un singolo ancorante
$\Psi_{s,Np} =$	1.00		coeff distrib non uniforme delle sollecitazioni
$\Psi_{re,Np} =$	1.00		coeff tiene conto effetto armatura
$\Psi_{ec,Np} =$	1.00		coeff tiene conto effetto gruppo
$\Psi_{g,Np}^0 =$	1.0		
$\Psi_{g,Np} =$	1.00		Fattore correttivo per superficie rottura
$N_{Rd,p} =$	27.3	kN	Resist. di progetto per rottura pullout-cono cls
c.s. =	4.91	VER. OK	

VERIFICA A TAGLIO CONNETTORI

Si ipotizza che l'aderenza tra soletta e cordolo sia nulla

$V_{Ed,tot} =$	14.95	kN	Azione di taglio sul gruppo
$V_{Ed,1} =$	2.99	kN	Azione di taglio su singola barra (si assegna il taglio alla barra lato strada)

Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)

$V_{Rd,s} =$	30.5	kN	Resist. di progetto per rottura acciaio singolo ancorante
c.s. =	10.21		

Rottura per pryout (scalzamento del cls)

$k =$	2		
$V_{Rd,cp} =$	42.93	kN	Resist. di progetto per rottura acciaio
c.s. =	14.36		

Rottura del bordo di calcestruzzo

$V_{Rk,c}^0 =$	3.77	kN	Valore iniziale della resistenza caratteristica
$c_1 =$	50.00	mm	Dist. minima dal bordo del ferro ad U (Caso A metti C1, caso B metti (Bcord,ante-C2), caso B con coll dell'allargam AL CORD ESISTENTE metti (Bcord,post-C2))



$A_{cv}^0 =$	11250 mm ²	Area di base del cono per un singolo ancorante
$A_{cv} =$	86250 mm ²	Area effettiva del cono di cls
$\Psi_{s,V} =$	1.00	
$\Psi_{h,V} =$	1.00	
$\Psi_{\alpha,V} =$	1.00	
$\Psi_{ec,V} =$	1.00	
Condizioni cordolo:	Cls fessurato con armatura di bordo ($f > 12\text{mm}$)	
$\Psi_{ucr,V} =$	1.20	
$V_{Rk,c} =$	34.65 kN	
c.s. =	2.32	VER. OK

ROTTURA COMBINATA TAGLIO-TRAZIONE

$\beta_N = N_{Ed} / N_{Rd}$			
$\beta_V = V_{Ed} / V_{Rd}$			
$\beta_{N,MAX} =$	0.43		
$\beta_{V,MAX} =$	0.43		
$\beta_{N,MAX} + \beta_{V,MAX} =$	0.87	<1.2	VER. OK
$\alpha =$	1.5		
$\beta_{N,MAX}^\alpha + \beta_{V,MAX}^\alpha =$	0.57	<1.0	VER. OK

Valori di α compresi tra 1.5 e 2

VERIFICA SCORRIMENTO INTERFACCIA CORDOLO-SOLETTA

La verifica è condotta secondo l'approccio riportato al paragrafo 6.2.5 dell'Eurocodice 2

$V_{Ed} =$	14.95 kN/m	Azione di taglio sollecitante per metro di cordolo
$\beta =$	1	Coeff.
$v_{Ed} =$	0.060 N/mm ²	Tensione tangenziale all'interfaccia
$f_{cd} =$	35.05 N/mm ²	Resist. cilindrica a compressione di progetto
$f_{ctd} =$	2.25 N/mm ²	Resist. a trazione di progetto
$f_{yd} =$	450.00 N/mm ²	Resist. di progetto a trazione acciaio
$N =$	3.06 kN/m	Carico verticale al metro lineare
$\sigma_n =$	0.340 N/mm ²	Tensione generata dai carichi verticali
Scabrezza interfaccia:	liscia	
$c =$	0.2	Fattore in funzione della scabrezza
$\mu =$	0.60	Fattore in funzione della scabrezza
$A_s =$	1131 mm ²	Area delle staffe ad U a metro
$A_i =$	250000 mm ²	Area superficie di interfaccia
$\rho =$	0.00452	Rapporto tra A_s e A_i
$v =$	0.51588	
$\alpha =$	90 ° =	1.57080 rad
$V_{Rdi} =$	1.875 N/mm ²	
c.s. =	31.36	VER. OK

Inclinazione sup. di getto (compreso tra 45° e 90°)



VERIFICA FLESSIONALE**SEZIONE CORDOLO**

In tale verifica l'armatura è rappresentata dalle staffe ad U inserite per collegare il cordolo alla soletta esistente. La verifica viene condotta per una sezione larga un metro.

$M_{Ed} =$	13.9 kNm/m	Momento flettente
$A_s =$	565 mm ²	Area armatura tesa
$M_{Rd} =$	125.96 kNm/m	Momento resistente
$M_{Rd(-)}$		
$),st,int =$	8.19 kNm/m	Momento resistente
c.s. =	8.47	VER. OK

7 Verifica statica

Nel presente capitolo viene esplicitato il percorso logico e le relative verifiche eseguite al fine di valutare il comportamento del ponte in oggetto ai carichi di servizio.

Sulla base del percorso conoscitivo, dello studio della documentazione esistente e della valutazione delle indagini diagnostiche eseguite si è proceduto ad una valutazione degli elementi strutturali principali.

7.1 Percorso conoscitivo

La ricerca del materiale di progetto dell'epoca di costruzione ha permesso la valutazione di solo parte della documentazione globale dell'epoca. Infatti, presso gli uffici ANAS (ufficio territoriale Toscana), è stato possibile reperire gli elaborati di progetto delle sole campate sovrastanti il fiume Arno, nonché le campate 1-2-3.

In riferimento alle su citate campate è stata reperita documentazione completa relativa ad una variante di progetto precedente rispetto a quella esecutiva e realizzata. Tale documentazione comprende sia gli elaborati di calcolo che quelli grafici. In riferimento al progetto esecutivo, è stato possibile reperire solo gli elaborati grafici.

Si riportano di seguito alcuni stralci degli elaborati grafici riferiti al progetto esecutivo delle campate 1-2-3

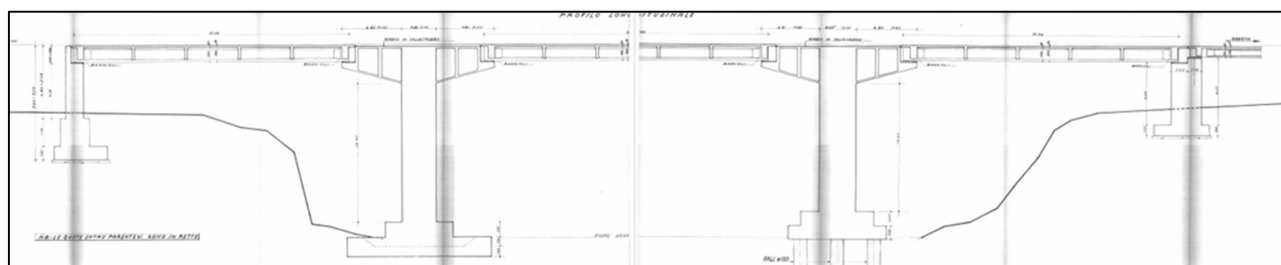


Figura 3 Vista ponte lato monte

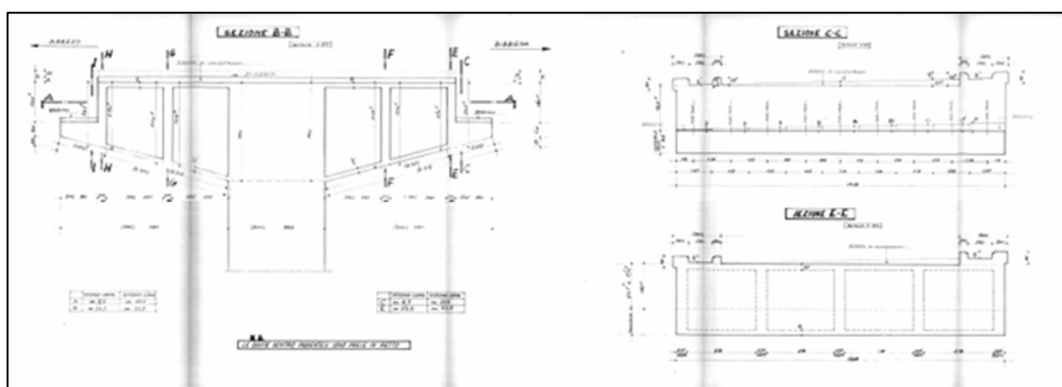


Figura 4 Particolare carpenteria pulvino

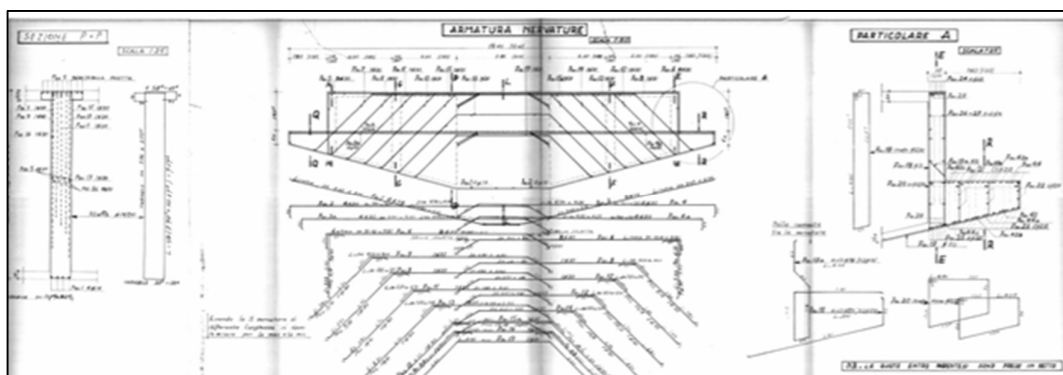


Figura 5 Particolare armature pulvino

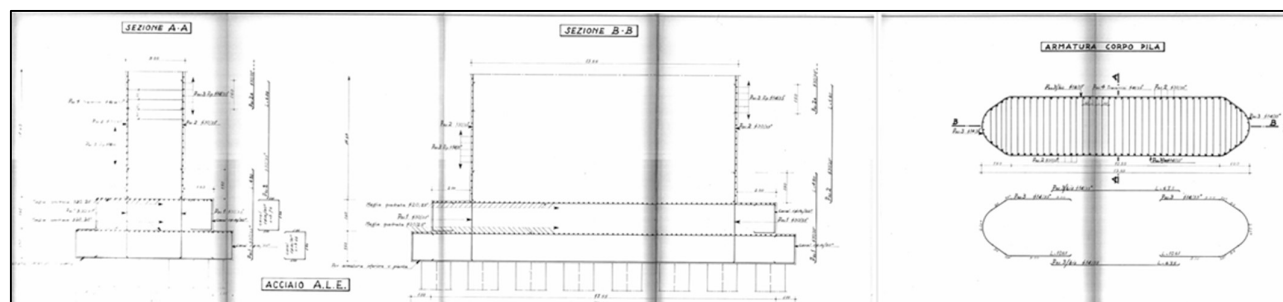


Figura 6 Particolare armature pila

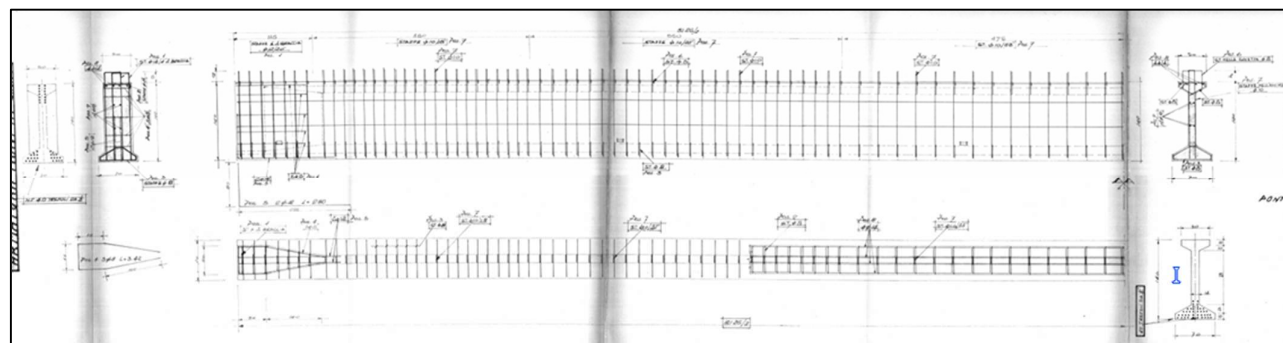


Figura 7 Particolare armatura di precompressione trave

7.2 Rilievo geometrico strutturale

Sulla base della documentazione esistente a disposizione, si è definito un piano di indagini atto a raggiungere una conoscenza completa dell'opera d'arte tale da raggiungere un livello di conoscenza LC3. La campagna diagnostica è stata condotta da Com.Sigma s.r.l. nei mesi di settembre e novembre 2022, e in particolare sono state eseguite le seguenti indagini:

- Nr. 61 indagini pacometriche con successiva micro-demolizione (PACi);
- Nr. 4 rilievi del tracciato dei cavi di precompressione (RCi)
- Nr. 18 prelievi di campioni cilindrici $\varnothing 100$ mm, comprensivo di prova a rottura per compressione monoassiale e verifica profondità di carbonatazione (CAi);
- Nr. 13 prelievi di barra d'armatura e successiva esecuzione di prova a trazione a rottura (BARI);
- Nr. 5 indagini videoendoscopiche per l'identificazione stratigrafica (ENDi).

Inoltre, al fine di ottenere una visione completa e ben definita della geometria del ponte, è stato eseguito un rilievo con tecnologia laser scanner di cui si riporta uno stralcio di seguito.

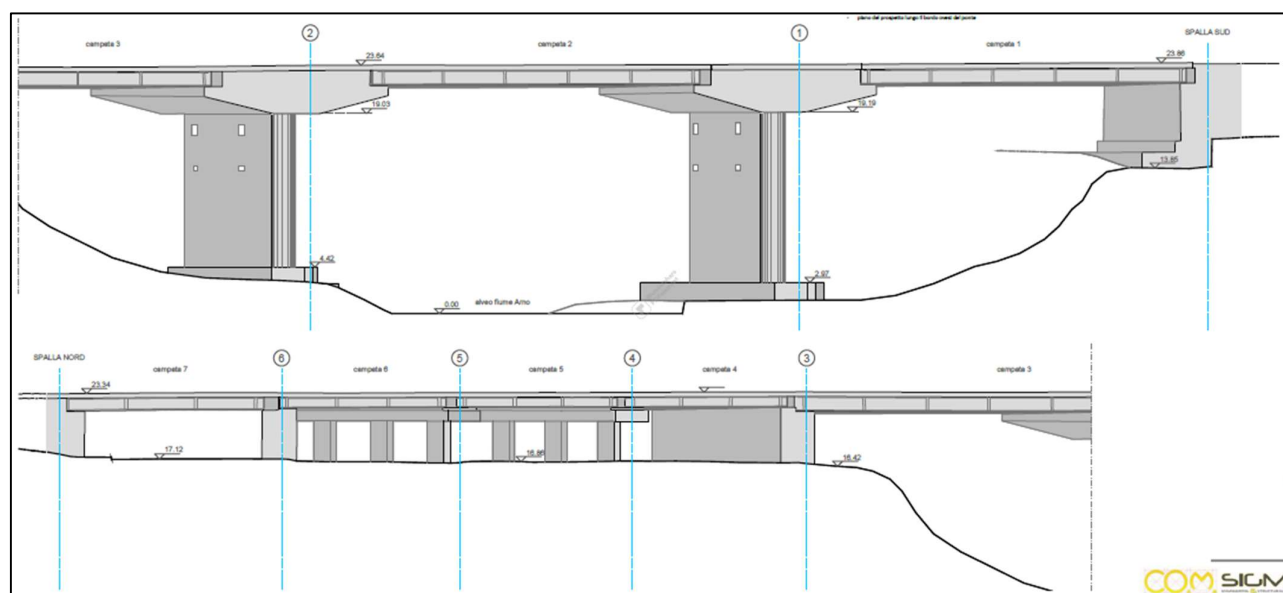
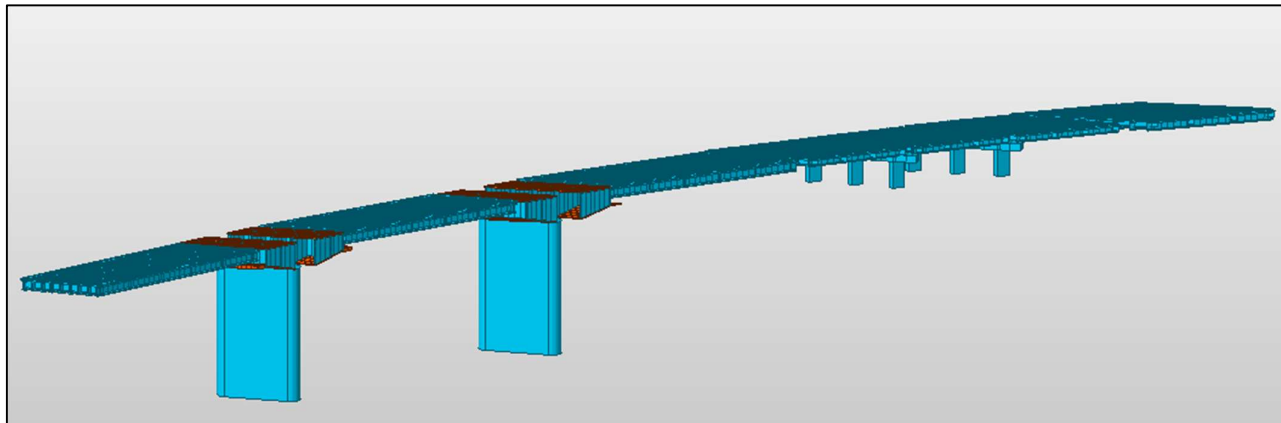


Figura 8 Estratto rilievo

7.3 Verifica Travi

La valutazione prestazionale delle travi è stata eseguita in accordo alle NTC2018 considerando le azioni di cui al §5. In particolare, è stato valutato il comportamento delle travi sia considerando modelli locali per ciascuna campata sia un modello globale compreso di sottostruttura.



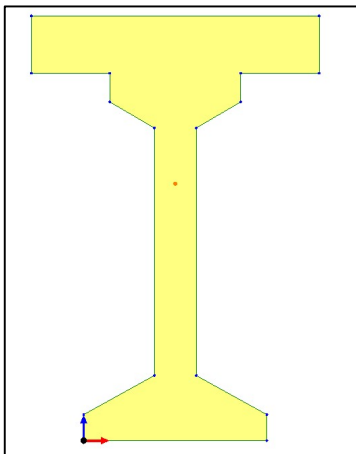
La valutazione delle prestazioni delle travi è stata eseguita partendo da una valutazione del numero di trefori presenti all'interno di ciascuna di esse. Tale valutazione è stata condotta per le campate 1-2-3 confrontando il numero di cavi di precompressione riportato in progetto e il numero di cavi rilevato in fase di diagnostica, mentre per le campate 4-5-6-7, non avendo a disposizione dati di progetto, si è considerato solo il numero di cavi individuato in fase di diagnostica. Si sottolinea che per le campate sovrastanti il fiume si è riscontrata perfetta corrispondenza tra gli elaborati di progetto e quanto rilevato in situ.

Per la valutazione della precompressione si è proceduto con una progettazione simulata, considerando i carichi di progetto definiti dalla Circolare Ministeriale LL.PP. – consiglio superiore – 14 febbraio 1962 n. 384, nella quale era prevista l'adozione di carichi militari per la corsia maggiormente caricata. In particolare, si è considerata lo schema di carico 5 per la corsia più caricata e lo schema di carico 2 per la corsia secondaria. In accordo alla pratica di progettazione dell'epoca di costruzione e a quanto riportato nella relazione di calcolo si valutato il tiro iniziale dei cavi di precompressione.

In seguito, le verifiche sono state condotte allo SLU considerando due scenari uno in cui si è valutata la tensione residua di precompressione valutata in accordo alle NTC2018 considerando cadute di tensione a breve e lungo termine, ed uno scenario in cui si è considerata la precompressione nulla. In tutte le campate si è osservato che i valori di resistenza sezionale allo SLU è indipendente dalla precompressione residua.

7.3.1 Campata 1-2-3

L'organismo strutturale delle campate 1-2-3 presenta le medesime caratteristiche geometriche strutturali. In particolare, la trave presenta una sezione ad I di altezza 1.40 m più 0.22 m di soletta collaborante. In termini di armatura si è riscontrata in sito la presenza del medesimo numero di cavi previsto da progetto, nonché 40 da 0.6".



Si riporta di seguito il percorso di valutazione della precompressione iniziale seguito considerando il progetto simulato come descritto precedentemente.

Proprietà meccaniche geometriche							
			Posizione	n°	Quota (da lembo inf.) [mm]		Area [mm ²]
fck [Mpa]	41.48		Riga 0	10	50		1130
fcd [Mpa]	23.51		Riga 1	10	100		1130
fckj [Mpa]	31.11		Riga 2	8	150		904
fctm [Mpa]	3.59		Riga 3	6	200		678
fcfm [Mpa]	4.31		Riga 4	2	250		226
			Riga 5	2	300		226
			Riga 6	2	350		226
			4520				
Area		Modulo Elastico		Momento d'Inerzia		Quota baricentro	
A _{c,trave} [mm ²]	374500	Ec [Mpa]	35542.80	J _{c,trave} [mm ⁴]	9.279E+10	y _{G,c,trave} [mm]	640.94348
A _{p,trefoli} [mm ²]	4520	Es [Mpa]	210000	J _{p,trefoli} [mm ⁴]	5.781E+09	y _{G,trefoli} [mm]	142.50
A _{ci} [mm ²]	404950.8	n _p	5.91	J _{ci} [mm ⁴]	9.899E+10	y _{Gci} [mm]	607.77

Proprietà sez. omogenea (40)	
n_{trefoli}	40
$y_{G,\text{trefoli}}$ [mm]	142.50
y_{Gci} [mm]	607.77
y_e [mm]	592.23
J_{ci} [mm ⁴]	98986670505
A_{ci} [mm ²]	404950.8
e [mm]	465.27
N_{op} [kN]	5000.00

Verifica tensionale - Fase 1						
M_{ppt} [Nmm]	1139229000		PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica
W_e [mm ³]	167140901.5	σ_e	-6.82	1.57	-5.24	< 0.7 fckj = 21.78 MPa Verificato!
W_i [mm ³]	162869941.1	σ_i	6.99	-26.63	-19.64	< 0.7 fckj = 21.78 MPa Verificato!
N_{op} [kN]	5000.00					
M_{op} [kNm]	2326.33					

Cadute								
Ritiro			Viscosità			Deformazione elastica istantanea		
Umidità	80%		$\phi(t_0,inf)$	2.03		σ_c	12.35	
h_0 [mm]	204.20		$\varepsilon(t_0,inf)$	-0.094231641		Delta σ_{cs}	-73.0	
k_h	1.006		Delta σ_{cs}	-214.7739655	-19%			
ϵ_{c0}	-0.0002363		Rilassamento					
$\epsilon_{cd,inf}$	-0.0002378		σ_{pi}	1106.19				
$\epsilon_{ca,inf}$	-0.0000787		ρ_{1000}	2.5				
ϵ_{cs}	-0.0003165		μ	0.594728328				
Delta σ_{cs}	-66.46		-6%	t	500000			
			Delta σ_{pr}	-27.05	-2.44%			

Verifica tensionale - Fase 1 - cadute					
	PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{e, \text{cadute}}$	-6.82	1.12	-5.70	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!
$\sigma_{i, \text{cadute}}$	6.99	-18.94	-11.94	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!

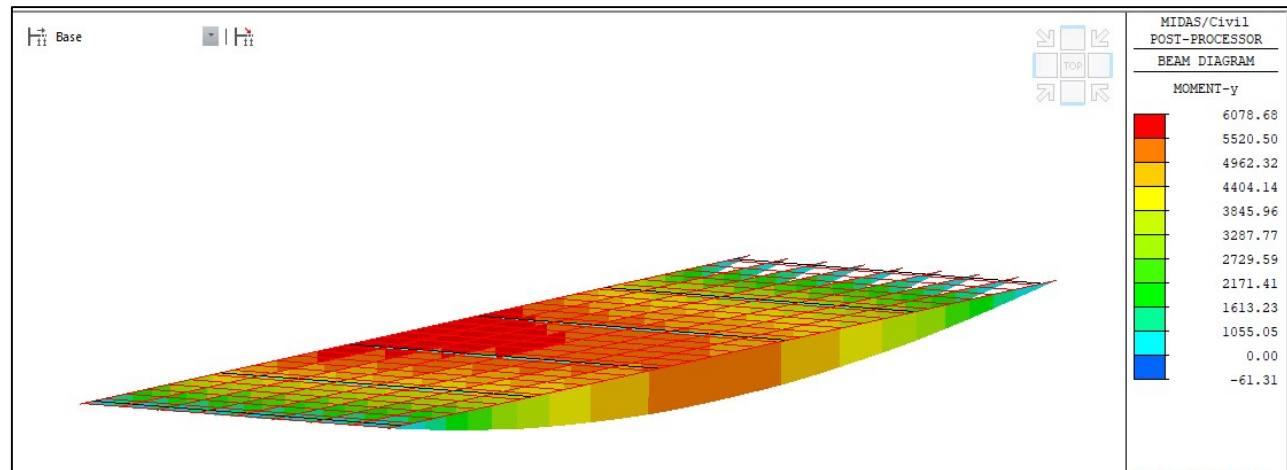
$M_{carichi1962}$ [Nmm]	3285000000	$W_{e, \text{+soletta}}$	4.016E+08	$y_{e, \text{+soletta}}$	569.02
M_{G2}	736164000	$W_{e, \text{trave}}$	7.371E+08	$y_{e, \text{trave}}$	310.04
M_{ppt} [Nmm]	1139229000	W_i	2.403E+08	y_i	950.98

Verifica tensionale - Fase 3					
	Fase 2 [MPa]	G2 [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{c, \text{fase 3, e soletta}}$	0	-12.85	-12.85	< 0.6 fck, sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, \text{fase 3, i soletta}}$	0	-6.71	-6.71	< 0.6 fck, sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, \text{fase 3, e trave}}$	1.1	-7.00	-5.88	< 0.6 fck, trv = 24.89 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, \text{fase 3, i trave}}$	-18.94	21.47	2.54	< 0.07 fck, trv = 2.90 MPa	Armatura sussidiaria

La valutazione delle sollecitazioni è stata eseguita considerando uno schema semplificato del tipo appoggio con software Midas Civil.

Si riporta di seguito schema riassuntivo delle verifiche.

Travi_Cadute di tensione da calcolo						Travi_Cadute di tensione 100%					
Flessione						Flessione					
Trave	Posizione	M _{ED} [kNm]	M _{RD} [kNm]	FS	Verifica	Trave	Posizione	M _{ED} [kNm]	M _{RD} [kNm]	FS	Verifica
Bordo	Mezzeria	6078	8948.00	1.47	VERIFICATO!	Bordo	Mezzeria	6078	8948.00	1.47	VERIFICATO!
Taglio staffe+inclinati						Taglio staffe+inclinati					
Trave	Posizione	V _{ED} [kN]	V _{RD} [kN]	FS	Verifica	Trave	Posizione	V _{ED} [kN]	V _{RD} [kN]	FS	Verifica
Bordo	A	914.8	2730	2.98	VERIFICATO!	Centrale	A	866	2730	3.15	VERIFICATO!
Bordo	B	825.00	1054	1.28	VERIFICATO!	Centrale	B	723.00	1054	1.46	VERIFICATO!
Bordo	C	627.00	759	1.21	VERIFICATO!	Centrale	C	561.00	759	1.35	VERIFICATO!



Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale con soletta Precompressione_Precompressione nulla

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° Vertici 16 **Zoom** **N° barre** 0 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	10
3	27	25
4	27	120
5	10	130
6	10	141

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M xRd 8.948 kN m

Materiali Trefolo C25/30

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 1.409 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 7.045 ‰ σ_{c,adm} 9.75
σ_{s,adm} 1080 N/mm² τ_{co} 0.6
τ_{c1} 1.829

Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.

Armatura Precompressione
N° cavi 40 **Zoom**

N°	As [cm ²]	x [cm]	y [cm]	σ _{sp} [MPa]
32	1.13	40	18	0
33	1.13	46	18	0
34	1.13	52	18	0
35	1.13	30	21	0
36	1.13	40	21	0
37	1.13	30	25	0

Metodo di calcolo
S.L.U.+ S.L.U.-
Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviato

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ 0 cm Col. modello

☒ Precompresso

Trefolo

ε_{su} 67.5 ‰
f_{yd} 1.409 N/mm²
E_s/E_c 6
ε_{syd} 7.045 ‰
σ_{s,adm} 1080 N/mm²

σ_{sp} 1.409 N/mm²
ε_{sp} 17.2 ‰ compressa predef.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale con soletta Precompressione_Precompressione nulla

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO :

N° Vertici 16 Zoom N° barre 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	10
3	27	25
4	27	120
5	10	130
6	10	141

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{Ed} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali Trefolo C25/30

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

M_{xRd} 8.948 kN m
 σ_c -27.65 N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s ‰
d 161 cm
x 27.23 x/d 0.1691
 δ 0.7

Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.

Armatura Precompressione N° cavi 40 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
32	1.13	40	18	780
33	1.13	46	18	780
34	1.13	52	18	780
35	1.13	30	21	780
36	1.13	40	21	780
37	1.13	30	25	780

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

☒ Precompresso

Trefolo

ϵ_{su} 67.5 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 7.045 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1.080 N/mm²

σ_{sp} 1.409 N/mm²
 ϵ_{sp} 21.1 ‰ compressa predef.

7.3.2 Campata 4

Come descritto nei paragrafi precedenti, non si ha a disposizione il progetto dell'epoca di costruzione delle campate 4-5-6-7, pertanto in questo caso si è proceduto al progetto simulato considerando il numero di cavi rilevato in occasione della campagna diagnostica condotta. Si è rilevata la presenza di 37 cavi di precompressione con andamento rettilineo nella sezione.

Proprietà meccaniche geometriche								
			Posizione	n°	Quota (da lembo inf.) [mm]	Area [mm ²]		
fck [Mpa]	41.48		Riga 0	7	30	196		
fcd [Mpa]	23.51		Riga 1	6	60	168		
fckj [Mpa]	31.11		Riga 2	6	90	168		
fctm [Mpa]	3.59		Riga 3	4	120	112		
fcfm [Mpa]	4.31		Riga 4	4	150	112		
			Riga 5	2	180	56		
			Riga 6	2	270	56		
			Riga 7	2	590	56		
			Riga 8	2	690	56		
			Riga 9	2	730	56		
			868					
Area			Modulo Elastico		Momento d'Inerzia		Quota baricentro	
A _{c,trave} [mm ²]	186700	Ec [Mpa]	35542.80	J _{c,trave} [mm ⁴]	1.996E+10	y _{G,c,trave} [mm]	474.617033	
A _{p,trefoli} [mm ²]	1036	Es [Mpa]	210000	J _{p,trefoli} [mm ⁴]	4.578E+08	y _{G,trefoli} [mm]	192.16	
A _{ci} [mm ²]	194688.1	n _p	5.91	J _{ci} [mm ⁴]	2.044E+10	y _{Gci} [mm]	465.65	

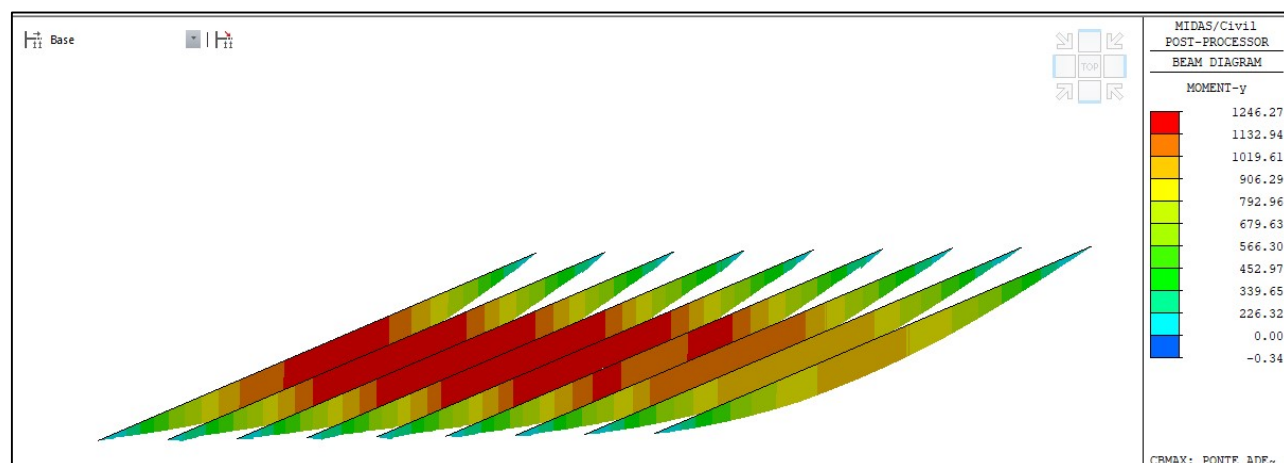
Cadute						
Ritiro			Viscosità		Deformazione elastica istantanea	
Umidità	80%		$\phi(t_0, \text{inf})$	2.18	σ_c	6.16
h_0 [mm]	92.25		$\epsilon(t_0, \text{inf})$	-0.103535178	Delta σ_{cs}	-36.42
k_h	0.838		Delta σ_{cs}	-111.3297854		-3%
ϵ_{c0}	-0.0002363		Rilassamento			
$\epsilon_{cd, \text{inf}}$	-0.0001981		σ_{pi}	1158.30		
$\epsilon_{ca, \text{inf}}$	-0.0000787		ρ_{1000}	2.5		
ϵ_{cs}	-0.0002768		μ	0.622742558		
Delta σ_{cs}	-58.13	-5%	t	500000		
			Delta σ_{pr}	-32.07	-2.77%	

Verifica tensionale - Fase 1 - cadute					
	PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{e, \text{cadute}}$	-3.57	1.74	-1.84	$< 0.7 f_{ckj} = 21.78 \text{ MPa}$	Verificato!
$\sigma_{i, \text{cadute}}$	3.23	-11.31	-8.08	$< 0.7 f_{ckj} = 21.78 \text{ MPa}$	Verificato!

$M_{carichi1962}$ [Nmm]	797004000	$W_{e, \text{soletta}}$	2.391E+08	ye_{soletta}	276.87
M_{G1}	184041000	$W_{e, \text{trave}}$	1.956E+08	ye_{trave}	338.52
M_{ppt} [Nmm]	141985350	W_i	8.142E+07	y_i	813.13

Verifica tensionale - Fase 3					
	Fase 2 [MPa]	G2 [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{c, \text{fase 3, e soletta}}$	0	-4.70	-4.70	$< 0.6 f_{ck, \text{sol}} = 21.03 \text{ MPa}$	Verificato!
$\sigma_{c, \text{fase 3, i soletta}}$	0	-5.51	-5.51	$< 0.6 f_{ck, \text{sol}} = 21.03 \text{ MPa}$	Verificato!
$\sigma_{c, \text{fase 3, e trave}}$	1.7	-5.74	-4.00	$< 0.6 f_{ck, \text{trv}} = 24.89 \text{ MPa}$	Verificato!
$\sigma_{c, \text{fase 3, i trave}}$	-11.31	13.79	2.48	$< 0.07 f_{ck, \text{trv}} = 2.90 \text{ MPa}$	Armatura sussidiaria

Travi_Cadute di tensione da calcolo						Travi_Cadute di tensione 100%					
Flessione						Flessione					
Trave	Posizione	M_{ED} [kNm]	M_{RD} [kNm]	FS	Verifica	Trave	Posizione	M_{ED} [kNm]	M_{RD} [kNm]	FS	Verifica
Centrale	Mezzeria	1235	1438.00	1.16	VERIFICATO!	Centrale	Mezzeria	1235	1438.00	1.16	VERIFICATO!
Bordo	Mezzeria	1246	1438.00	1.15	VERIFICATO!	Bordo	Mezzeria	1246	1438.00	1.15	VERIFICATO!
Taglio staffe+inclinati						Taglio staffe+inclinati					
Trave	Posizione	V_{ED} [kN]	V_{RD} [kN]	FS	Verifica	Trave	Posizione	V_{ED} [kN]	V_{RD} [kN]	FS	Verifica
Bordo	A	467	668	1.43	VERIFICATO!	Centrale	A	467	668	1.43	VERIFICATO!
Bordo	B	250.00	520	2.08	VERIFICATO!	Centrale	B	250.00	520	2.08	VERIFICATO!



Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale_Campata 4_con soletta Precompressione_Cadute di tensione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° Vertici 16 Zoom N° barre 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
12	33	91
13	24	85
14	24	16
15	34	9
16	34	0

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN M_{Ed} 0 kNm M_{yEd} 0

P.to applicazione N Centro Baricentro cls Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato acciaio - Cavo snervato

M_{xRd} 1.438 kN m

Materiali Trefolo C25/30

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰ f_{yd} 1.409 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰ E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 N/mm² E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm² τ_{co} 0.6 τ_{c1} 1.829

σ_c -27.65 N/mm² σ_s 3.312 ‰ ϵ_c 3.312 ‰ ϵ_s 3.312 ‰ d 117 cm x 5.472 x/d 0.04677 δ 0.7

Tipo Sezione Rettan.re Trapezi a T Circolare Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Armatura Precompressione N° cavi 10 Zoom

N°	As [cm ²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	1.96	17	3	960
2	1.68	17	6	960
3	1.68	17	9	960
4	1.12	17	12	960
5	1.12	17	15	960
6	0.56	17	18	960

Tipo cavo Trefolo

ϵ_{su} 67.5 ‰ f_{yd} 1.409 N/mm² E_s/E_c 6 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

σ_{sp} 1.409 N/mm² ϵ_{sp} 72.3 ‰ compressa pref.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale_Campata 4_con soletta Precompressione_Null

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° Vertici 16 Zoom N° barre 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
12	33	91
13	24	85
14	24	16
15	34	9
16	34	0

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN M_{Ed} 0 kNm M_{yEd} 0

P.to applicazione N Centro Baricentro cls Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato acciaio - Cavo snervato

M_{xRd} 1.438 kN m

Materiali Trefolo C25/30

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰ f_{yd} 1.409 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰ E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 N/mm² E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm² τ_{co} 0.6 τ_{c1} 1.829

σ_c -27.65 N/mm² σ_s 3.312 ‰ ϵ_c 3.312 ‰ ϵ_s 3.312 ‰ d 117 cm x 5.472 x/d 0.04677 δ 0.7

Tipo Sezione Rettan.re Trapezi a T Circolare Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Armatura Precompressione N° cavi 10 Zoom

N°	As [cm ²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	1.96	17	3	0
2	1.68	17	6	0
3	1.68	17	9	0
4	1.12	17	12	0
5	1.12	17	15	0
6	0.56	17	18	0

Tipo cavo Trefolo

ϵ_{su} 67.5 ‰ f_{yd} 1.409 N/mm² E_s/E_c 6 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

σ_{sp} 1.409 N/mm² ϵ_{sp} 67.5 ‰ compressa pref.

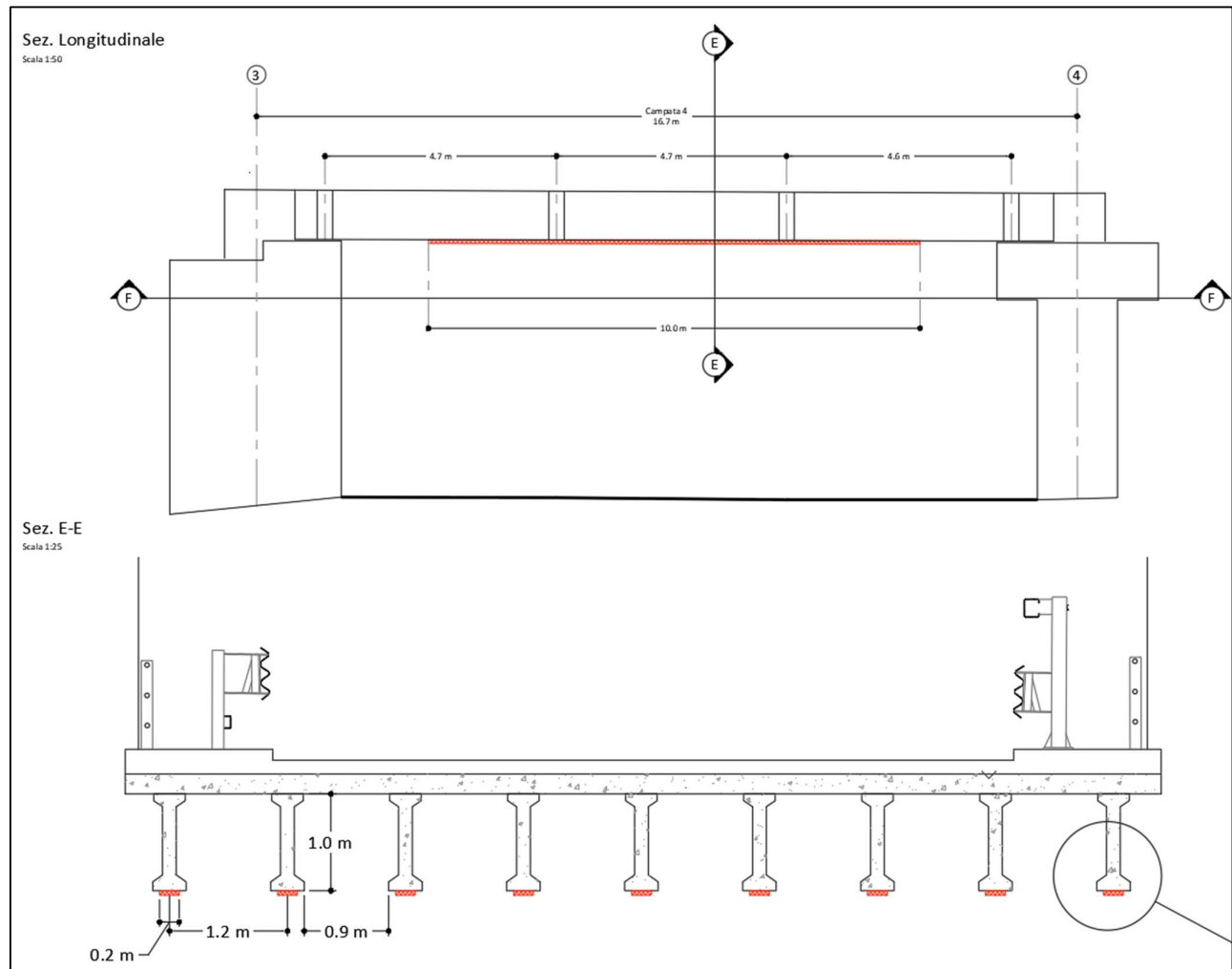
Nonostante la verifica di Ponte Adeguato sia verificata, con lo scopo di estendere la capacità portante della struttura al transito dei mezzi eccezionali ai sensi delle Linee Guida Trasporti in condizioni di eccezionalità – 2022.07.29 MIMS, è stato previsto un intervento di rinforzo per incrementare la resistenza a flessione della trave mediante l'utilizzo di lamine di fibra di carbonio. In particolare sono state previste due strisce da 10 cm di larghezza per una lunghezza pari a 10 m a cavallo della mezzera della trave. Sono state considerate lamine con le seguenti caratteristiche meccaniche

Spessore equivalente t_f 1.4 mm
Tensione caratteristica di rottura $f_{f,uk}$ 3100.0MPa
Modulo elastico E_f 190000.0MPa



Deformazione ultima ϵ_{fk}	1.6%
Numero di strati n_f	1.0
Larghezza b_f	200.0mm
Raggio di curvatura r_c	20 mm
Coefficiente di sicurezza FRP γ_f	1,1
Fattore di conversione ambientale η_a	E – 0.85

Di seguito un estratto della tavola “TAV.12_Var – Dettagli costruttivi Rinforzo a flessione travi campata 4”.



Di seguito si riporta la verifica a flessione della sezione rinforzata.

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} [\psi \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} \cdot (d - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \epsilon_{s2} \cdot E_s \cdot (d - c) + A_f \cdot \epsilon_f \cdot E_f \cdot c]$$

Con $\gamma_{Rd} = 1,00$, $\psi = 0,809$ e $\lambda = 0,416$

In definitiva:

Lunghezza ottimale di ancoraggio di progetto:

$$l_{ed} = 207.1$$

Modalità di rottura:

Snervamento acciaio/distacco intermedio



Profondità dell'asse neutro:

$$x = 36.98 \text{ mm}$$

Le deformazioni agenti allo S.L.U. sulla sezione rinforzata sono:

$$\varepsilon_c = 2.2E - 4$$

$$\varepsilon_{s1} = 0.00688$$

$$\varepsilon_{s2} = 1.0E - 4$$

$$\varepsilon_f = 0.007$$

Le tensioni agenti allo S.L.U. sulla sezione rinforzata sono:

$$\sigma'_s = 21.46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 480.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = 1330.0 \text{ MPa}$$

MOMENTO ULTIMO DELLA SEZIONE RINFORZATA

$$M_{Rd} = 1864.73 \text{ kNm}$$

7.3.3 Campata 5

Come descritto nei paragrafi precedenti, non si ha a disposizione il progetto dell'epoca di costruzione delle campate 4-5-6-7, pertanto in questo caso si è proceduto al progetto simulato considerando il numero di cavi rilevato in occasione della campagna diagnostica condotta. Si è rilevata la presenza di 53 cavi di precompressione con andamento rettilineo nella sezione.

Proprietà meccaniche geometriche							
			Posizione	n°	Quota (da lembo inf.) [mm]	Area [mm ²]	
fck [Mpa]	41.48		Riga 0	11	30	308	
fcd [Mpa]	23.51		Riga 1	10	60	280	
fckj [Mpa]	31.11		Riga 2	8	90	224	
fctm [Mpa]	3.59		Riga 3	6	120	168	
fcfm [Mpa]	4.31		Riga 4	4	150	112	
			Riga 5	2	180	56	
			Riga 6	2	210	56	
			Riga 7	2	330	56	
			Riga 8	2	390	56	
			Riga 9	2	620	56	
			Riga 10	2	690	56	
			Riga 11	2	760	56	
							1204
Area		Modulo Elastico		Momento d'Inerzia		Quota baricentro	
A _{c,trave} [mm ²]	186700	Ec [Mpa]	35542.80	J _{c,trave} [mm ⁴]	1.996E+10	y _{G,c,trave} [mm]	474.617033
A _{p,trefoli} [mm ²]	1484	Es [Mpa]	210000	J _{p,trefoli} [mm ⁴]	7.131E+08	y _{G,trefoli} [mm]	176.04
A _{ci} [mm ²]	197335.0	n _p	5.91	J _{ci} [mm ⁴]	2.071E+10	y _{Gci} [mm]	461.22

Proprietà sez. omogenea (40)	
n _{trefoli}	53
y _{G,trefoli} [mm]	176.04
y _{Gci} [mm]	461.22
y _e [mm]	518.78
J _{ci} [mm ⁴]	20711846110
A _{ci} [mm ²]	197335.0
e [mm]	285.19
N _{op} [kN]	1700.00

Verifica tensionale - Fase 1							
M _{ppt} [Nmm]	141985350		PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica	
W _e [mm ³]	39924433.51		σ _e	-3.56	3.53	-0.03	< 0.7 fckj = 21.78 MPa Verificato!
W _i [mm ³]	44906282.68		σ _i	3.16	-19.41	-16.25	< 0.7 fckj = 21.78 MPa Verificato!
N _{op} [kN]	1700.00						
M _{op} [kNm]	484.82						

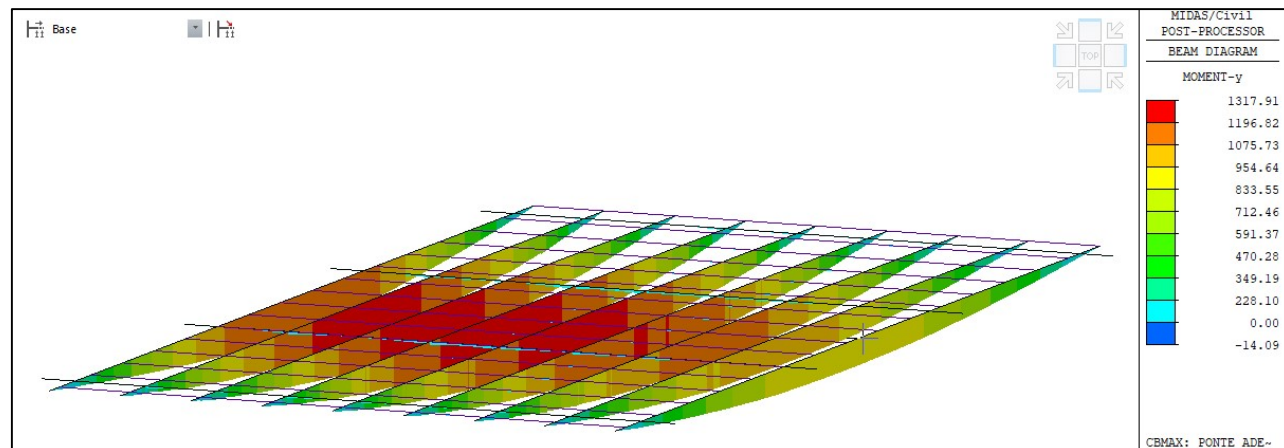
Cadute									
Ritiro			Viscosità			Deformazione elastica istantanea			
Umidità	80%		$\phi(t_0,inf)$	2.18		σ_c	8.61	-4%	
h_0 [mm]	92.25		$\epsilon(t_0,inf)$	-0.10239564		Delta σ_{cs}	-50.90		
k_h	0.838		Delta σ_{cs}	-171.5261585		-15%			
E_{c0}	-0.0002363		Rilassamento						
$E_{cd,inf}$	-0.0001981		σ_{pi}	1145.55					
$E_{ca,inf}$	-0.0000787		ρ_{1000}	2.5					
E_{cs}	-0.0002768		μ	0.615888473					
Delta σ_{cs}	-58.13		t	500000					
			Delta σ_{pr}	-30.77	-2.69%				

Verifica tensionale - Fase 1 - cadute					
	PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{e, cadute}$	-3.56	2.73	-0.83	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!
$\sigma_{i, cadute}$	3.16	-15.02	-11.86	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!

$M_{carichi1962}$ [Nmm]	797004000	$W_{e, soletta}$	2.399E+08	$y_{e, soletta}$	280.95
M_{G1}	184041000	$W_{e, trave}$	2.015E+08	$y_{e, trave}$	334.44
M_{ppt} [Nmm]	141985350	W_i	8.331E+07	y_i	809.05

Verifica tensionale - Fase 3					
	Fase 2 [MPa]	G2 [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{c, fase 3, e soletta}$	0	-4.68	-4.68	< 0.6 fck, sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, fase 3, i soletta}$	0	-5.34	-5.34	< 0.6 fck, sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, fase 3, e trave}$	2.7	-5.57	-2.84	< 0.6 fck, trv = 24.89 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, fase 3, i trave}$	-15.02	13.48	-1.54	< 0.6 fck, trv = 24.89 MPa	Verificato!

Travi_Cadute di tensione da calcolo						Travi_Cadute di tensione 100%					
Flessione						Flessione					
Trave	Posizione	M_{ED} [kNm]	M_{RD} [kNm]	FS	Verifica	Trave	Posizione	M_{ED} [kNm]	M_{RD} [kNm]	FS	Verifica
Bordo	Mezzeria	1317	2073.00	1.57	VERIFICATO!	Bordo	Mezzeria	1317	2073.00	1.57	VERIFICATO!
Taglio staffe+inclinati						Taglio staffe+inclinati					
Trave	Posizione	V_{ED} [kN]	V_{RD} [kN]	FS	Verifica	Trave	Posizione	V_{ED} [kN]	V_{RD} [kN]	FS	Verifica
Bordo	A	443	866	1.95	VERIFICATO!	Centrale	A	443	866	1.95	VERIFICATO!
Bordo	B	280.00	631	2.25	VERIFICATO!	Centrale	B	280.00	631	2.25	VERIFICATO!



Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale_Campata 5_con soletta Precompressione_Null

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° Vertici 16 Zoom N° barre 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	9
3	10	16
4	10	85
5	1	91
6	1	98

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 0 kN
M xEd 0 kNm
M yEd 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali Trefolo C25/30
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

M xRd 2.073 kN m
 σ_c -27.65 N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s ‰
d 117 cm
x 7.756 x/d 0.06629
 δ 0.7

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U. -
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Armatura Precompressione
 N° cavi 12 Zoom

N°	As [cm ²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
8	0.56	17	33	0
9	0.56	17	39	0
10	0.56	17	62	0
11	0.56	17	69	0
12	0.56	17	76	0

Tipo cavo
 Trefolo
 ϵ_{su} 67.5 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 7.045 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

σ_{sp} 1.409 N/mm²
 ϵ_{sp} 49.3 ‰ compresa predef.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale_Campata 5_con soletta Precompressione_Cadute di tensione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° Vertici 16 Zoom N° barre 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	9
3	10	16
4	10	85
5	1	91
6	1	98

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 0 kN
M xEd 0 kNm
M yEd 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali Trefolo C25/30
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

M xRd 2.073 kN m
 σ_c -27.65 N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s ‰
d 117 cm
x 7.756 x/d 0.06629
 δ 0.7

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U. -
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Armatura Precompressione
 N° cavi 12 Zoom

N°	As [cm ²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
8	0.56	17	33	886
9	0.56	17	39	886
10	0.56	17	62	886
11	0.56	17	69	886
12	0.56	17	76	886

Tipo cavo
 Trefolo
 ϵ_{su} 67.5 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 7.045 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

σ_{sp} 1.409 N/mm²
 ϵ_{sp} 53.73 ‰ compresa predef.

7.3.4 Campata 6

Come descritto nei paragrafi precedenti, non si ha a disposizione il progetto dell'epoca di costruzione delle campate 4-5-6-7, pertanto in questo caso si è proceduto al progetto simulato considerando il numero di cavi rilevato in occasione della campagna diagnostica condotta. Si è rilevata la presenza di 49 cavi di precompressione con andamento rettilineo nella sezione.

Proprietà meccaniche geometriche								
			Posizione	n°	Quota (da lembo inf.) [mm]	Area [mm ²]		
fck [Mpa]	41.48		Riga 0	9	30	252		
fcd [Mpa]	23.51		Riga 1	8	60	224		
fckj [Mpa]	31.11		Riga 2	8	90	224		
fctm [Mpa]	3.59		Riga 3	6	120	168		
fcfm [Mpa]	4.31		Riga 4	4	150	112		
			Riga 5	2	180	56		
			Riga 6	2	210	56		
			Riga 7	2	290	56		
			Riga 8	2	360	56		
			Riga 9	2	630	56		
			Riga 10	2	680	56		
			Riga 11	2	780	56		
						1092		
Area		Modulo Elastico		Momento d'Inerzia		Quota baricentro		
A _{c,trave} [mm ²]	186700	Ec [Mpa]	35542.80	J _{c,trave} [mm ⁴]	1.996E+10	Y _{G,c,trave} [mm]	474.617033	
A _{p,trefoli} [mm ²]	1372	Es [Mpa]	210000	J _{p,trefoli} [mm ⁴]	6.259E+08	Y _{G,trefoli} [mm]	184.69	
A _{ci} [mm ²]	196673.3	n _p	5.91	J _{ci} [mm ⁴]	2.062E+10	y _{Gci} [mm]	462.55	
Proprietà sez. omogenea (40)								
n _{trefoli}				49				
y _{G,trefoli} [mm]				184.69				
y _{Gci} [mm]				462.55				
y _e [mm]				517.45				
J _{ci} [mm ⁴]				20618203940				
A _{ci} [mm ²]				196673.3				
e [mm]				277.86				
N _{0p} [kN]				1600.00				
Verifica tensionale - Fase 1								
M _{ppt} [Nmm]	141985350		PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica		
W _e [mm ³]	39846001.04		σ _e	-3.56	3.02	-0.54	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!
W _i [mm ³]	44574817.15		σ _i	3.19	-18.11	-14.92	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!
N _{0p} [kN]	1600.00							
M _{0p} [kNm]	444.57							

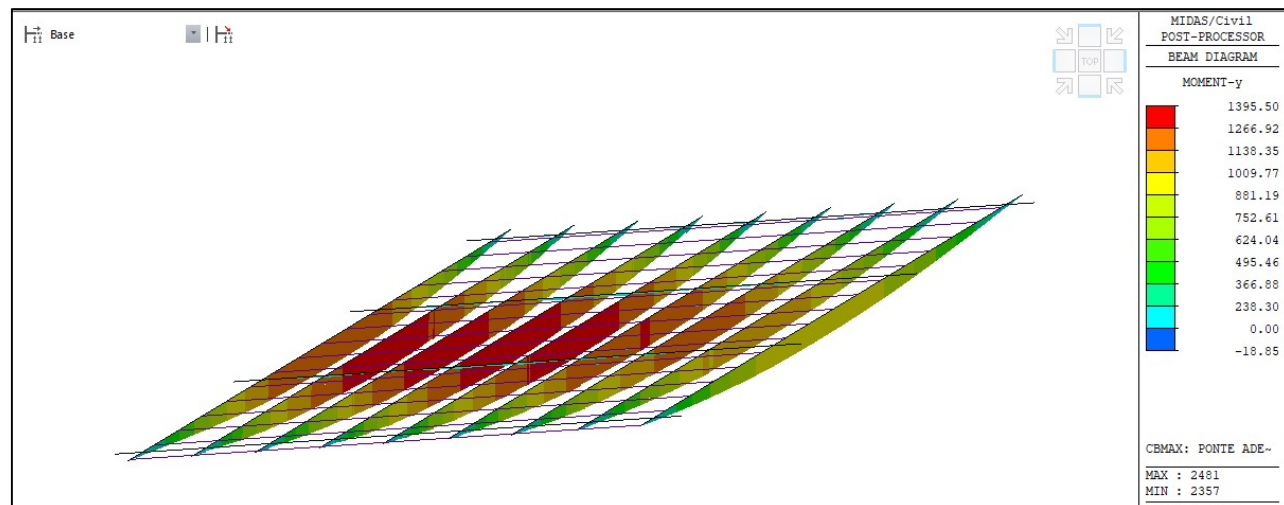
Cadute								
Ritiro			Viscosità			Deformazione elastica istantanea		
Umidità	80%		$\phi(t_0, inf)$	2.18		σ_c	8.14	
h_0 [mm]	92.25		$\epsilon(t_0, inf)$	-0.104239499		Delta σ_{cs}	-48.07	-4%
k_h	0.838		Delta σ_{cs}	-157.0919997	-13%			
ϵ_{c0}	-0.0002363		Rilassamento					
$\epsilon_{cd, inf}$	-0.0001981		σ_{pi}	1166.18				
$\epsilon_{ca, inf}$	-0.0000787		ρ_{1000}	2.5				
ϵ_{cs}	-0.0002768		μ	0.626978902				
Delta σ_{cs}	-58.13	-5%	t	500000				
			Delta σ_{pr}	-32.90	-2.82%			

Verifica tensionale - Fase 1 - cadute					
	PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{e, cadute}$	-3.56	2.38	-1.18	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!
$\sigma_{i, cadute}$	3.19	-14.28	-11.09	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!

$M_{carichi1962}$ [Nmm]	797004000	$W_{e, soletta}$	2.396E+08	$ye, soletta$	279.83
M_{G1}	184041000	$W_{e, trave}$	1.998E+08	$ye, trave$	335.55
M_{ppt} [Nmm]	141985350	W_i	8.275E+07	yi	810.17

Verifica tensionale - Fase 3					
	Fase 2 [MPa]	G2 [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{c, fase 3, e soletta}$	0	-4.69	-4.69	< 0.6 fck, sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, fase 3, i soletta}$	0	-5.39	-5.39	< 0.6 fck, sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, fase 3, e trave}$	2.4	-5.62	-3.24	< 0.6 fck, trv = 24.89 MPa	Verificato!
$\sigma_{c, fase 3, i trave}$	-14.28	13.57	-0.71	< 0.6 fck, trv = 24.89 MPa	Verificato!

Travi_Cadute di tensione da calcolo						Travi_Cadute di tensione 100%					
Flessione						Flessione					
Trave	Posizione	M_{ED} [kNm]	M_{RD} [kNm]	FS	Verifica	Trave	Posizione	M_{ED} [kNm]	M_{RD} [kNm]	FS	Verifica
Bordo	Mezzeria	1317	1905.00	1.45	VERIFICATO!	Bordo	Mezzeria	1317	1905.00	1.45	VERIFICATO!
Taglio staffe+inclinati						Taglio staffe+inclinati					
Trave	Posizione	V_{ED} [kN]	V_{RD} [kN]	FS	Verifica	Trave	Posizione	V_{ED} [kN]	V_{RD} [kN]	FS	Verifica
Bordo	A	486	668	1.37	VERIFICATO!	Bordo	A	486	668	1.37	VERIFICATO!
Bordo	B	298.00	523	1.76	VERIFICATO!	Bordo	B	298.00	523	1.76	VERIFICATO!



Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale_Campata 6_con soletta Precompressione_Null

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo: _____

N° Vertici 16 Zoom N° barre 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	9
3	10	16
4	10	85
5	1	91
6	1	98

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 0 kN
M xEd 0 kNm
M yEd 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali Trefolo C25/30
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

M xRd 1.905 kN m
 σ_c -27.65 N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s ‰
d 117 cm
x 7.163 x/d 0.06122
 δ 0.7

Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.

Armatura Precompressione
N° cavi 12 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	2.52	17	3	0
2	2.24	17	6	0
3	2.24	17	9	0
4	1.68	17	12	0
5	1.12	17	15	0
6	0.56	17	18	0

Tipo cavo Trefolo
 ϵ_{su} 67.5 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 7.045 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

☒ Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave centrale_Campata 6_con soletta Precompressione_Cadute di tensione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo: _____

N° Vertici 16 Zoom N° barre 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	9
3	10	16
4	10	85
5	1	91
6	1	98

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 0 kN
M xEd 0 kNm
M yEd 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali Trefolo C25/30
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 27.65 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 7.045 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

M xRd 1.905 kN m
 σ_c -27.65 N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s ‰
d 117 cm
x 7.163 x/d 0.06122
 δ 0.7

Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.

Armatura Precompressione
N° cavi 12 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	2.52	17	3	919
2	2.24	17	6	919
3	2.24	17	9	919
4	1.68	17	12	919
5	1.12	17	15	919
6	0.56	17	18	919

Tipo cavo Trefolo
 ϵ_{su} 67.5 ‰
 f_{yd} 1.409 N/mm²
 E_s/E_c 6
 ϵ_{syd} 7.045 ‰
 $\sigma_{s,adm}$ 1080 N/mm²

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

☒ Precompresso

7.3.5 Campata 7

Come descritto nei paragrafi precedenti, non si ha a disposizione il progetto dell'epoca di costruzione delle campate 4-5-6-7, pertanto in questo caso si è proceduto al progetto simulato considerando il numero di cavi rilevato in occasione della campagna diagnostica condotta. Si è rilevata la presenza di 16 cavi di precompressione con andamento rettilineo nella sezione.

Proprietà meccaniche geometriche							
			Posizione	n°	Quota (da lembo inf.) [mm]	Area [mm ²]	
fck [Mpa]	41.48		Riga 0	6	30	300	
fcd [Mpa]	23.51		Riga 1	2	180	100	
fckj [Mpa]	31.11		Riga 2	2	420	100	
fctm [Mpa]	3.59		Riga 3	2	570	100	
fcfm [Mpa]	4.31		Riga 4	2	700	100	
			Riga 5	2	1130	100	
			800				
Area		Modulo Elastico		Momento d'Inerzia		Quota baricentro	
A _{c,trave} [mm ²]	216700	Ec [Mpa]	35542.80	J _{c,trave} [mm ⁴]	4.411E+10	y _{G,c,trave} [mm]	592.602677
A _{p,trefoli} [mm ²]	800	Es [Mpa]	210000	J _{p,trefoli} [mm ⁴]	1.928E+08	y _{G,trefoli} [mm]	386.25
A _{ci} [mm ²]	223593.7	n _p	5.91	J _{ci} [mm ⁴]	4.431E+10	y _{Gci} [mm]	588.20

Verifica tensionale - Fase 1 - cadute					
	PPT [MPa]	PC [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{e,cadute}$	-1.46	-2.13	-3.58	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!
$\sigma_{i,cadute}$	2.19	-5.66	-3.47	< 0.7 fckj = 21.78 MPa	Verificato!

$M_{carichi1962}$ [Nmm]	797004000	$W_{e,soletta}$	3.191E+08	$ye,soletta$	378.33
M_{G1}	184041000	$W_{e,trave}$	2.952E+08	$ye,trave$	409.07
M_{ppt} [Nmm]	164800350	W_i	1.205E+08	y_i	1001.67

Verifica tensionale - Fase 3					
	Fase 2 [MPa]	G2 [MPa]	Tot	Verifica	
$\sigma_{c,fase 3,e soletta}$	0	-3.59	-3.59	< 0.6 fck,sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c,fase 3,i soletta}$	0	-3.72	-3.72	< 0.6 fck,sol = 21.03 MPa	Verificato!
$\sigma_{c,fase 3,e trave}$	-2.1	-3.88	-6.01	< 0.6 fck,trv = 24.89 MPa	Verificato!
$\sigma_{c,fase 3,i trave}$	-5.66	9.51	3.85	< 0.07 fck,trv = 2.90 MPa	Non Verificato

Travi_Cadute di tensione da calcolo						Travi_Cadute di tensione 100%					
Flessione						Flessione					
Trave	Posizione	M _{ED} [kNm]	M _{RD} [kNm]	FS	Verifica	Trave	Posizione	M _{ED} [kNm]	M _{RD} [kNm]	FS	Verifica
Bordo	Mezzeria	2006	1144.00	0.57	Non Verificato	Bordo	Mezzeria	2006	1144.00	0.57	Non Verificato
Taglio staffe+inclinati						Taglio staffe+inclinati					
Trave	Posizione	V _{ED} [kN]	V _{RD} [kN]	FS	Verifica	Trave	Posizione	V _{ED} [kN]	V _{RD} [kN]	FS	Verifica
Bordo	A	556	866	1.56	VERIFICATO!	Bordo	A	556	866	1.56	VERIFICATO!
Bordo	B	357.00	584	1.64	VERIFICATO!	Bordo	B	357.00	584	1.64	VERIFICATO!

Come descritto nei paragrafi precedenti le verifiche per le travi della campata 7, non risultano soddisfatte nei confronti dei carichi previsti dalle Normative Tecniche del 2018. Si evidenzia che il numero di cavi di precompressione considerato per le travi in questo caso risulta essere inferiore rispetto a quello presente nelle altre travi in quanto si è deciso, in accordo con la committenza, di considerare solo quelle rilevate in sede di diagnostica strutturale. Le carenze si manifestano nei confronti delle sollecitazioni flessionali, pertanto si è optato per intervenire attraverso l'introduzione di FRP al fine incrementare la resistenza flessionale.

L'intervento è stato progettato valutando l'applicazione di lamina in composito tipo CARBOPLATE E 200 della Mapei S.p.A. applicati con i rispettivi cicli epossidici.

Il dimensionamento e le verifiche sono condotti in conformità a:

- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto 17 gennaio 2018 e successive Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui alla Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019;
- Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati di cui al CNR DT 200 R1/2013.>

Di seguito si riporta il calcolo del rinforzo, valutato con lo scopo di soddisfare anche le verifiche nei confronti dei carichi eccezionali.

Per la campata in esame è stato previsto un intervento di rinforzo per incrementare la resistenza a flessione della trave mediante l'utilizzo di lamine di fibra di carbonio. In particolare, sono state previste quattro strisce da 10 cm e una da 5 cm di larghezza per una lunghezza pari a 13 m a cavallo della mezzeria della trave. Sono state considerate lamine con le seguenti caratteristiche meccaniche

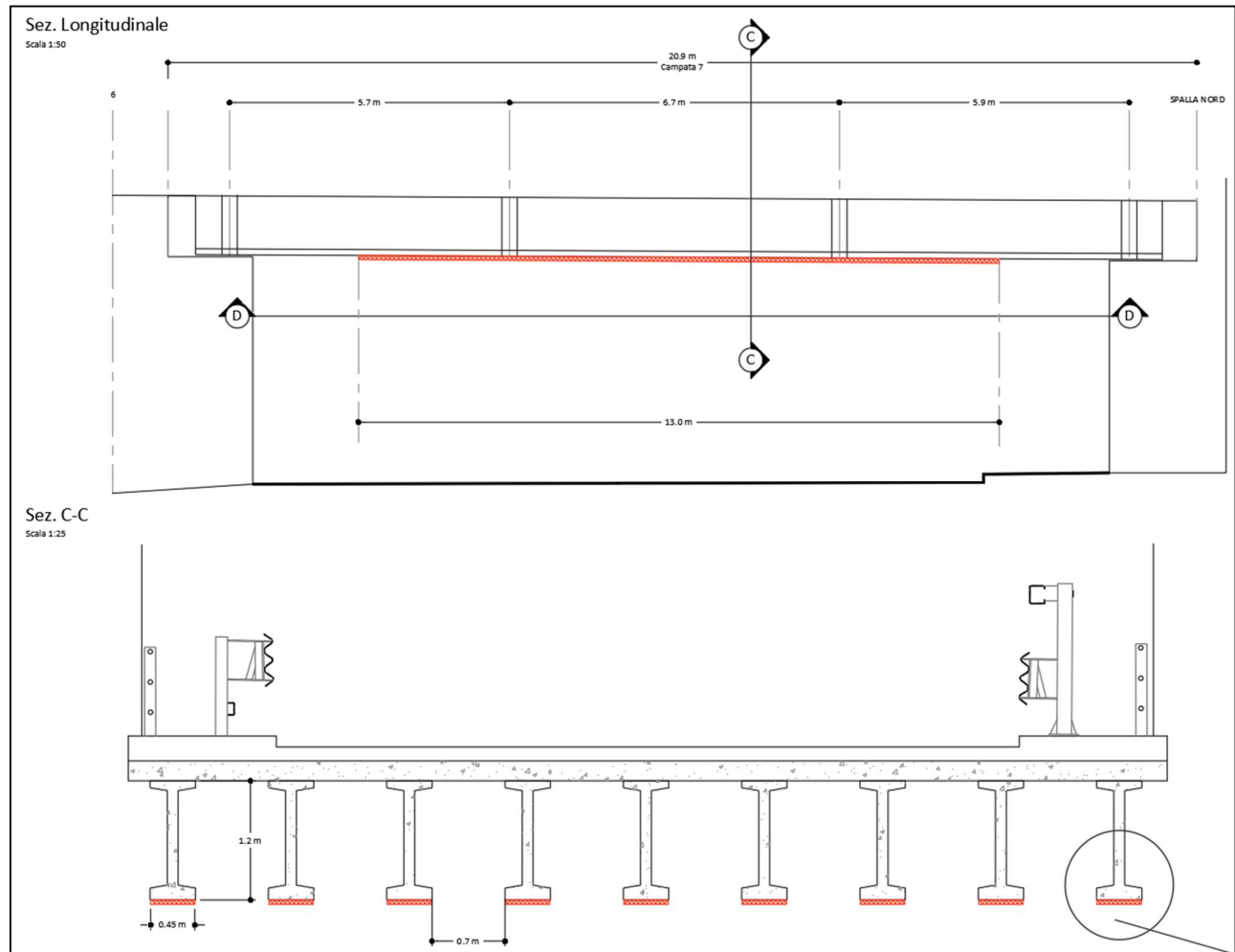
Spessore equivalente t_f	1.4 mm
Tensione caratteristica di rottura $f_{f,uk}$	3100.0MPa
Modulo elastico E_f	190000.0MPa
Deformazione ultima ϵ_{fk}	1.6%
Numero di strati n_f	1.0
Larghezza b_f	450.0mm
Raggio di curvatura r_c	20 mm



Coefficiente di sicurezza FRP γ_f
 Fattore di conversione ambientale η_a
 Condizione di carico

1,1
 $E = 0.85$
 distribuito

Di seguito un estratto della tavola "TAV.10_Var – Dettagli costruttivi Rinforzo a flessione travi campata 7".



Di seguito si riporta la verifica a flessione della sezione rinforzata.

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} [\Psi \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} \cdot (d - \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot (d - c) + A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f \cdot c]$$

Con $\gamma_{Rd} = 1,00$, $\Psi = 0,809$ e $\lambda = 0,416$

In definitiva:

Lunghezza ottimale di ancoraggio di progetto:

$$l_{ed} = 207.1$$

Modalità di rottura:

Snervamento acciaio/distacco intermedio

Profondità dell'asse neutro:

$$x = 40.85 \text{ mm}$$



Le deformazioni agenti allo S.L.U. sulla sezione rinforzata sono:

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= 2.0E-4 \\ \varepsilon_{s1} &= 0.00661 \\ \varepsilon_{s2} &= 1.0E-4 \\ \varepsilon_f &= 0.00671\end{aligned}$$

Le tensioni agenti allo S.L.U. sulla sezione rinforzata sono:

$$\begin{aligned}\sigma'_s &= 21.62\text{MPa} \\ \sigma_s &= 480.0\text{MPa} \\ \sigma_f &= 1274.81\text{MPa}\end{aligned}$$

MOMENTO ULTIMO DELLA SEZIONE RINFORZATA

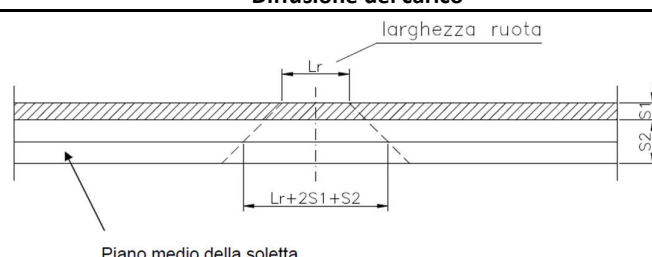
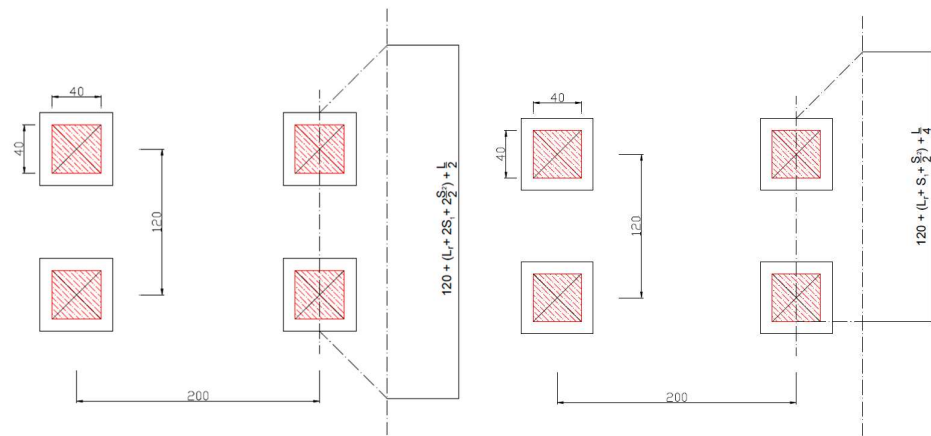
$$M_{Rd} = 2240.96\text{kNm}$$

7.4 Verifica soletta

La verifica della soletta è stata eseguita considerando verifiche locali con schema di carico 1. Le verifiche sono state condotte considerando 2 modelli differenti di soletta per l'intera opera d'arte; infatti le campate 1-2-3 e 4-5-6-7 presentano le medesime caratteristiche sezionali, pertanto di seguito si riporta la valutazione prestazionale delle due tipologie di solette.

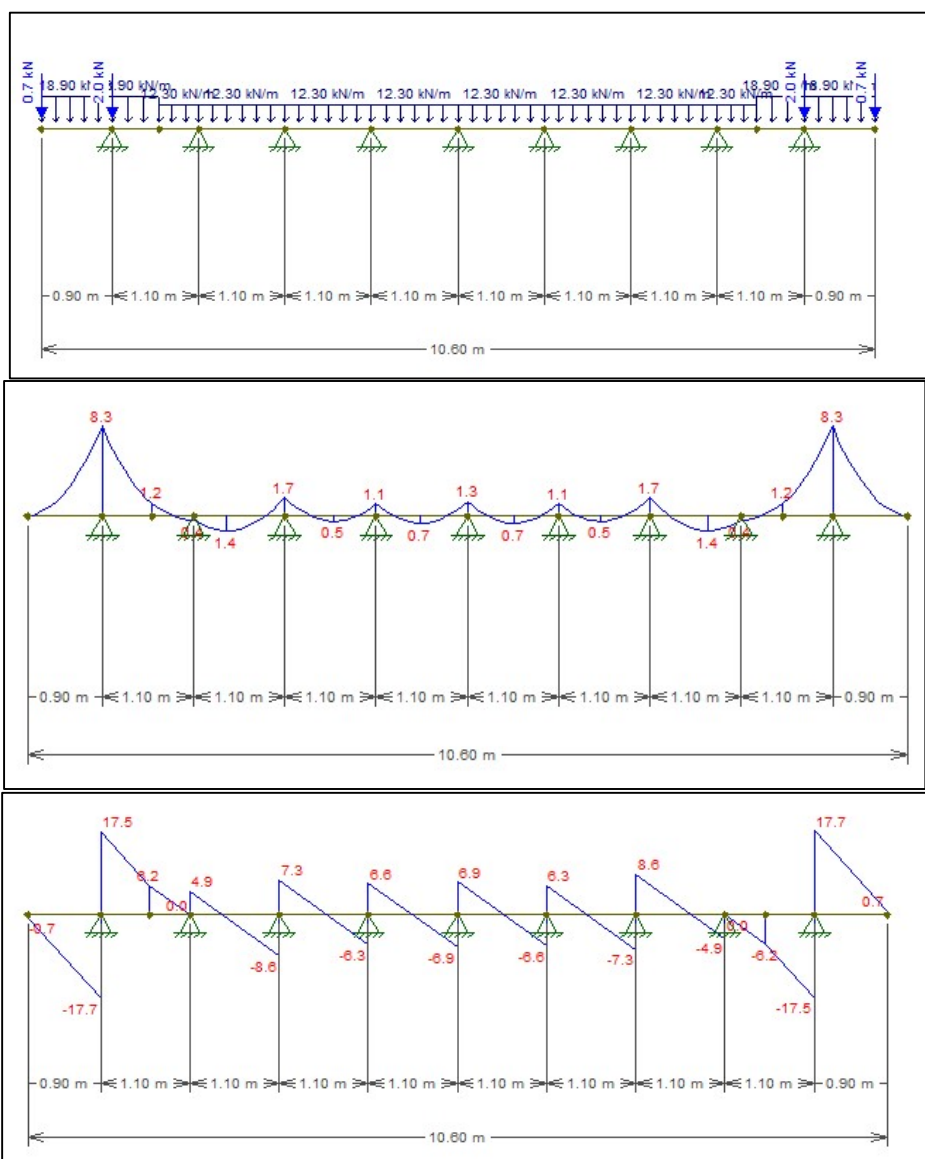
1. Campate 1-2-3

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE IMPALCATO DEL PONTE			
Lunghezza della trave (trave luce max)	L	31.2	[m]
Soletta collaborante (travi centrali)	i	1.10	[m]
Lunghezza complessiva impalcato	Limpalcato	200.00	[m]
Larghezza impalcato	Limpalcato	10.60	[m]
Larghezza marciapiede	Lmarciapiede	1.50	[m]
Larghezza base trave	b _w	0.50	[m]
Altezza soletta	Hsoletta	0.22	[m]
Numero travi	N°	9.00	[-]
Sbalzo bordo da interasse trave	λ _{sbalzo}	0.90	[m]
Sbalzo bordo da bordo trave	λ _{sbalzo fine anima}	0.65	[m]
Larghezza cordolo	Lcordolo	1.50	[m]
Altezza cordolo	Hcordolo	0.56	[m]
STRATI DI PAVIMENTAZIONE			
Strato di stabilizzato/impermeabilizzante	Sp _{stabilizzato}	0.00	[m]
Strato di Binder in misto Cementato	Sp _{mistocementato}	0.19	[m]
Strato di Usura	Sp _{usura}	0.00	[m]
Peso Specifico Stabilizzato	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m ³]
Peso Specifico Pavimentazione (binder)	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m ³]
Peso Specifico Pavimentazione (usura)	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m ³]
CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI E NON STRUTTURALI			
Peso proprio strutturale Soletta	G _{1,soletta}	5.50	[Kn/m ²]
Peso cordolo	G _{1,cordolo}	14.00	[Kn/m ²]
Peso Permanente portato Stabilizzato	G _{2,stabilizzato}	0.00	[Kn/m ²]
Peso Permanente portato Binder	G _{2,Binder}	3.61	[Kn/m ²]
Peso Permanente portato Usura	G _{2,strato di usura}	0.00	[Kn/m ²]
Totale Pesì Portati	G _{2,tot}	3.61	[Kn/m ²]
Peso Barriera	G _{2,barriera}	1.50	[Kn/m]
Peso Barriera 2	G _{2,veletta}	0.50	[Kn/m]
Peso Impianti (lato valle)	G _{2,impianti lato valle}	0.50	[Kn/m]
Peso Impianti (lato monte)	G _{2,impianti lato monte}	0.00	[Kn/m]
Peso Pavimentazione marciapiede	G _{2,marciapiede}	0.00	[Kn/m ²]
Carico totale carreggiata		9.11	[Kn/m]
Carico totale "cordolo"		23.11	[Kn/m]

CARICHI DA TRAFFICO		
CAMPATA		
Schema di Carico 1		
Diffusione del carico		
<div></div>		
Larghezza della ruota da schema 1 (40x40cm)	$L_{r,schema\ 1}$	0.40 [m]
Spessore totale della pavimentazione (minimo)	S_1	0.19 [m]
Spessore della soletta	S_2	0.22 [m]
SEZIONE CORRENTE		
Diffusione del carico in direzione longitudinale	$D_{soletta,schema\ 1}$	1.00 [m]
Diffusione del carico in direzione trasversale	$D_{soletta,schema\ 1}$	1.00 [m]
SEZIONE D'ESTREMITA (PROSSIMITA' GIUNTI)		
Diffusione del carico in direzione longitudinale	$D_{soletta,schema\ 1}$	0.70 [m]
Diffusione del carico in direzione trasversale	$D_{soletta,schema\ 1}$	0.70 [m]
SEZIONE CORRENTE (schema 1)		SEZIONE D'ESTREMITA (schema 1)
<div></div>		
SEZIONE CORRENTE		
Schema di carico 1 Sezione corrente (figura Sx) $B_{sez.res.\ 1,corrente}$		2.75 [m]

SEZIONE D'ESTREMITA' (PROSSIMITA' GIUNTI)		
<i>Schema di carico 1 Sezione d'estremità (figura Dx)</i>	<i>B_{sez.res. 1,estremità}</i>	2.18 [m]
SEZIONE CORRENTE		
<i>Schema di carico 1 Sezione corrente (figura Sx)</i>	<i>B_{sez.res. 1,corrente,sbalzo}</i>	1.00 [m]
SEZIONE D'ESTREMITA' (PROSSIMITA' GIUNTI)		
<i>Schema di carico 1 Sezione d'estremità (figura Dx)</i>	<i>B_{sez.res. 1,estremità, sbalzo}</i>	1.00 [m]
Entità del carico		
<i>Carico asse (Ponte Adeguato e Ponte Operativo)</i>		300 [kN]
<i>Carico lineare agente su striscia di profondità pari a D_{schema1,corrente}</i>		300.00 [kN/m/(b)]
<i>Carico lineare agente su striscia di profondità pari a D_{schema1,estremità}</i>		428.57 [kN/m/(b)]

SOLLECITAZIONI CARICHI STATICI				
	Coefficiente		carico	
Carico permanente strutturale	1.35	G1	7.43	[Kn/m]
		G1 cordolo	18.90	[Kn/m]
Carico permanente non strutturale	1.35	G2 distr,campata	4.87	[Kn/m]
		G2 distr,cordolo	0.00	[Kn/m]
		G2,barriera	2.03	[Kn]
		G2,veletta	0.68	[Kn]
		G2,impianti lato valle	0.00	[Kn]
		G2,impianti lato monte	0.00	[Kn]



MOMENTO SOLLECITANTE (RISULTATI FTOOL)

Momento dato dai carichi permanenti	M^- p, appoggio centrale	1.70	[Kn*m/m]
Momento dato dai carichi permanenti	M^- p, appoggio sbalzo	8.30	
Momento dato dai carichi permanenti	M^+ p, mezzeria	1.40	[Kn*m/m]

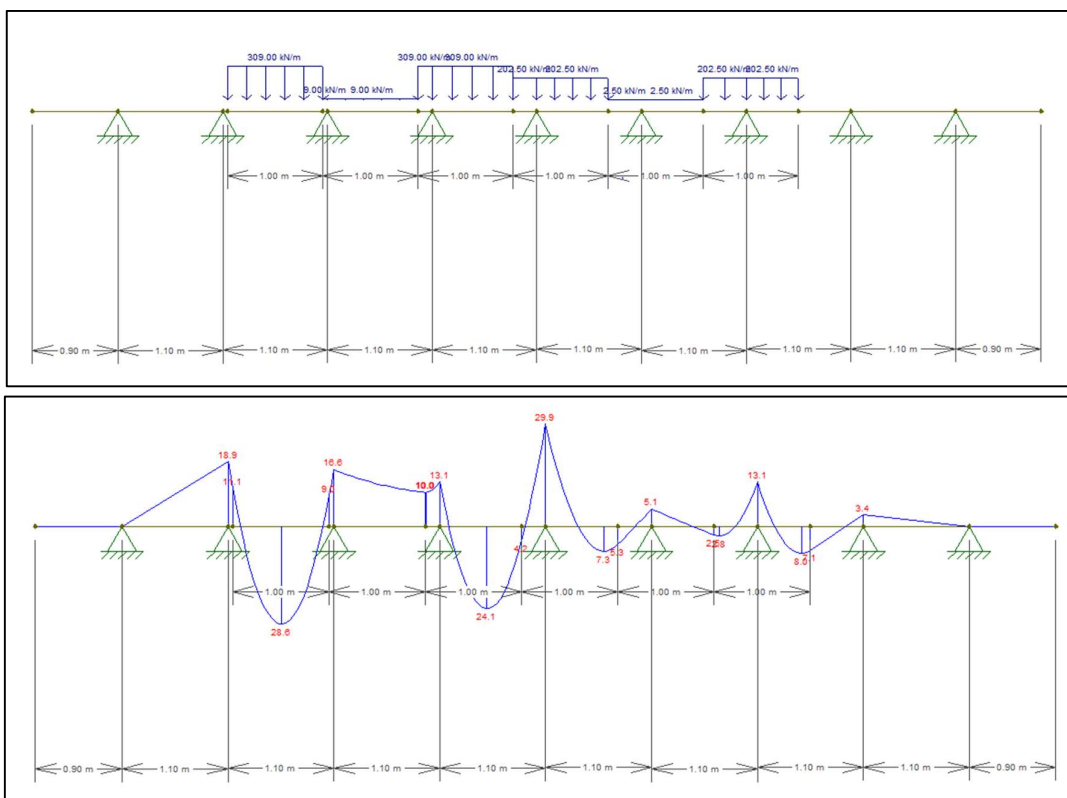
TAGLIO SOLLECITANTE (RISULTATI FTOOL)

Taglio dato dai carichi permanenti	T, appoggio, sbalzo	17.70	[Kn/m]
Taglio dato dai carichi permanenti	T, appoggio centrale	8.60	[Kn/m]

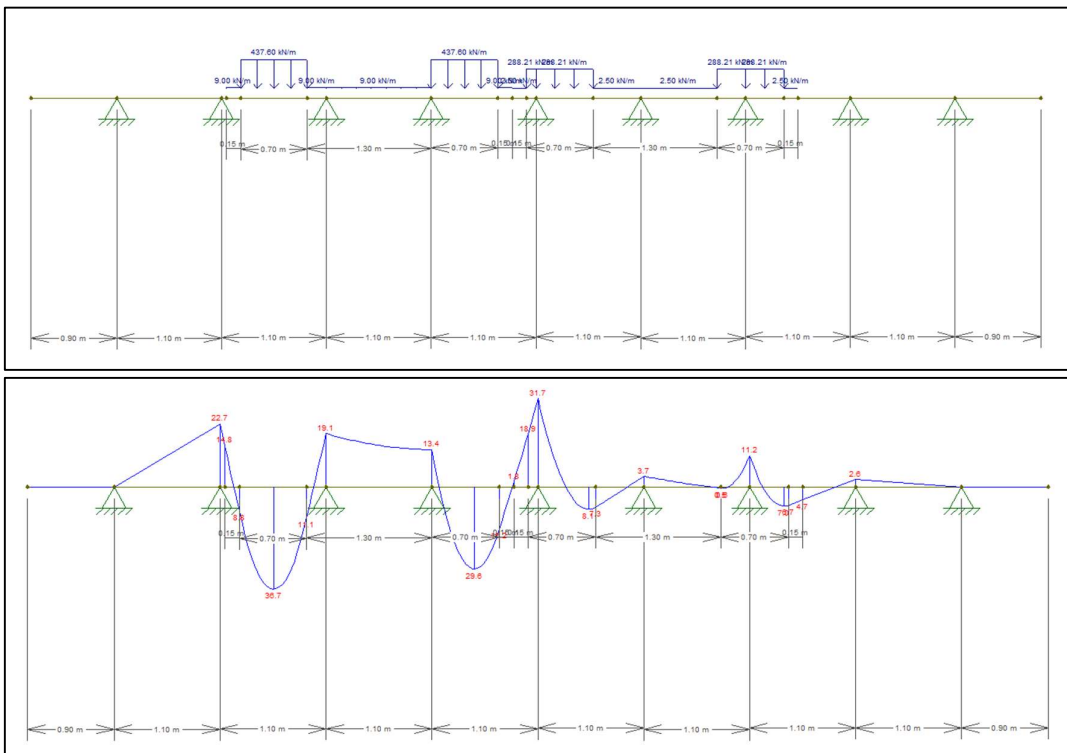
SOLLECITAZIONI CARICHI DA TRAFFICO

SCHEMA DI CARICO 1

Massimo momento positivo Campata

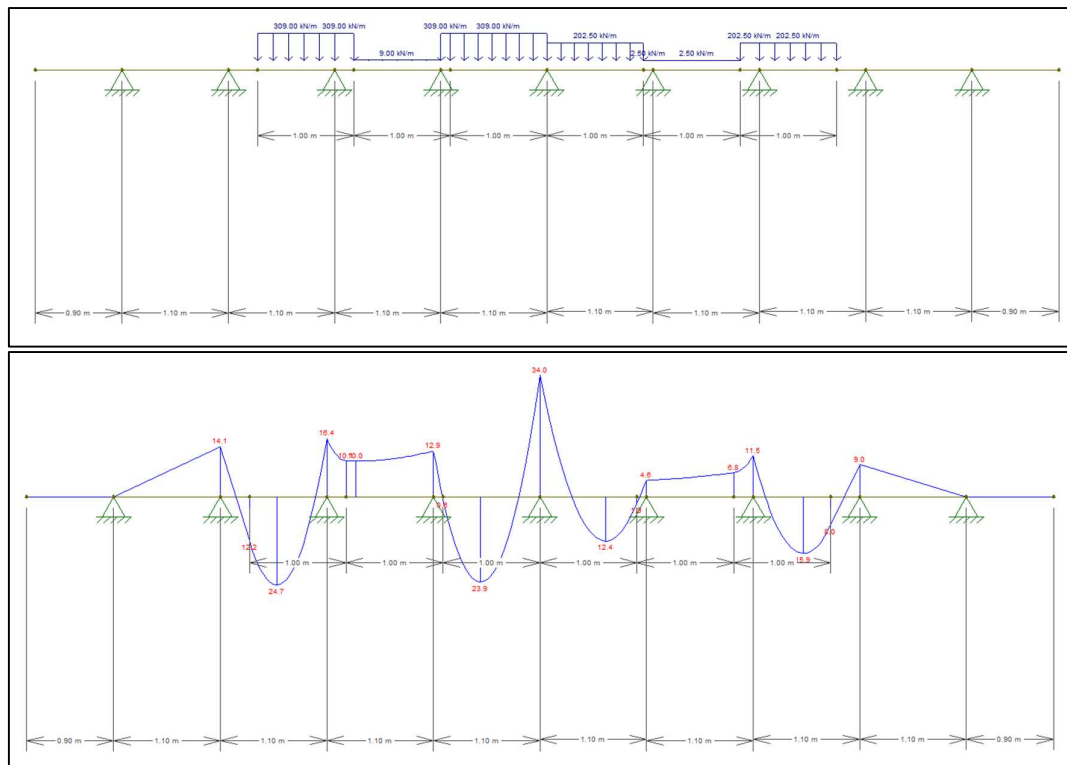


Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)	M+	28.60	[Kn*m/b]
Momento fattorizzato	1.35 M+	38.61	[Kn*m/b]
Momento unitario fattorizzato CORRENTE	m+	14.04	[Kn*m/m]
Massimo momento positivo Campata-Estremità			



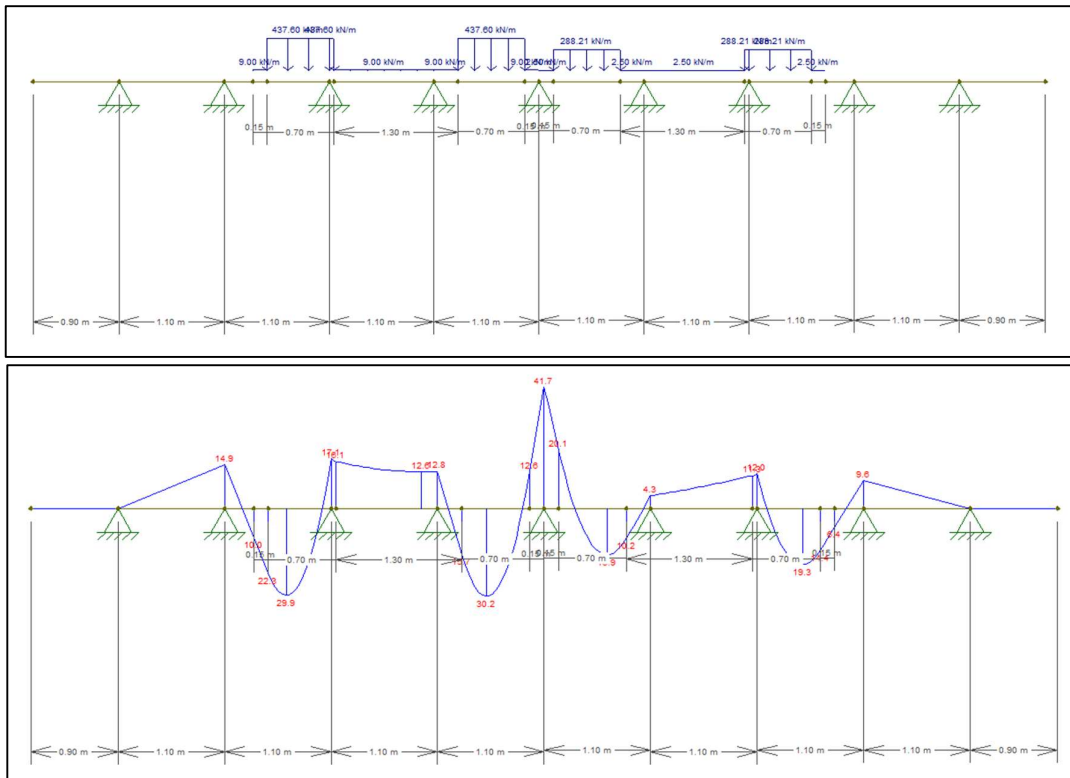
Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)	M+	36.00 [Kn*m/b]
Momento fattorizzato	1.35 M+	48.6 [Kn*m/b]
Coefficiente di amplificazione dinamico	ϕ	1.3
Momento unitario fattorizzato ESTREMITA'	m+	29.05 [Kn*m/m]

Massimo momento negativo Appoggio

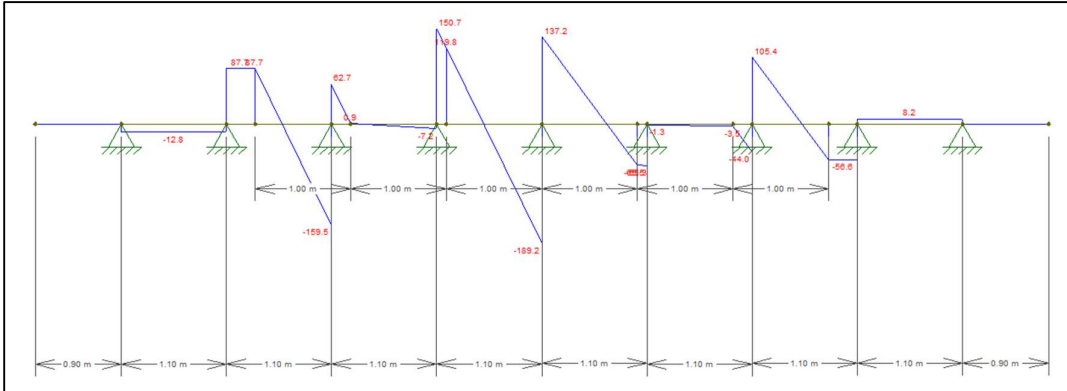
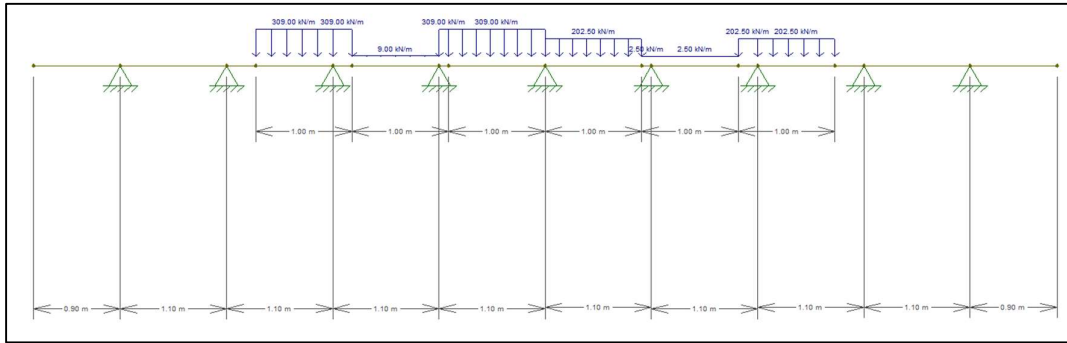


Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)		M-	34.00 [Kn*m/b]
Momento fattorizzato	1.35	M-	45.9 [Kn*m/b]
Momento unitario fattorizzato CORRENTE		m-	16.69 [Kn*m/m]

Massimo momento negativo Campata-Estremità



Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)	M-	35.00	[Kn*m/b]
Momento fattorizzato	1.35 M-	47.25	[Kn*m/b]
Coefficiente di amplificazione dinamico	ϕ	1.3	
Momento unitario fattorizzato ESTREMITA'	m-	28.24	[Kn*m/m]
Massimo Taglio Campata			



Taglio non fattorizzato (Risultato FTOOL)

T

189.20 [Kn/b]

Taglio fattorizzato

1.35 T

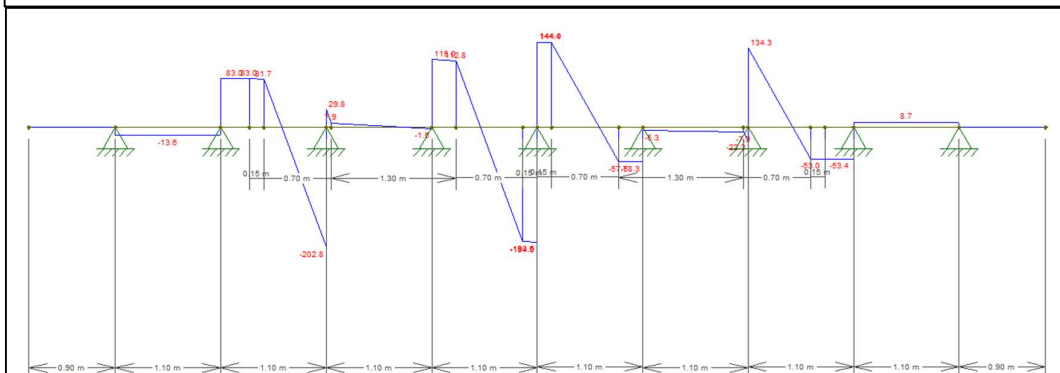
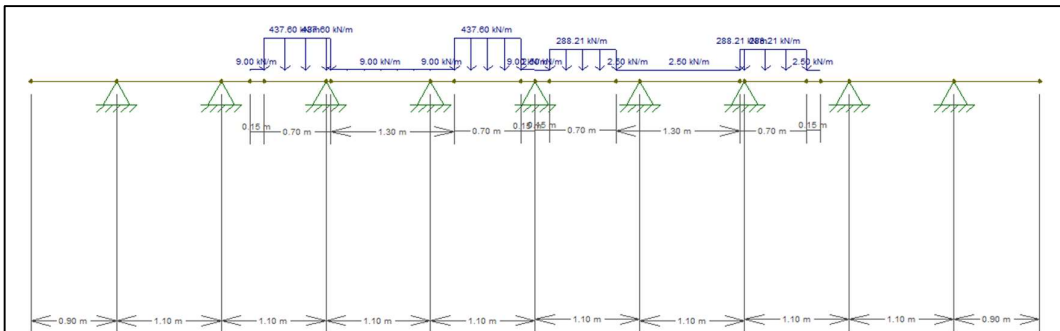
255.42 [Kn/b]

Taglio unitario fattorizzato CORRENTE

t

92.88 [Kn/m]

Massimo Taglio Campata-Estremità



Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)	T	194.90	[Kn*m/b]
Momento fattorizzato	1.35 T	263.115	[Kn*m/b]
Coefficiente di amplificazione dinamico	ϕ	1.3	
Momento unitario fattorizzato ESTREMITA'	t	157.26	[Kn*m/m]

VERIFICA DI PONTE ADEGUATO					
Soletta					
Flessione					
Sezione	Posizione	M _{ED} [kNm]	M _{RD} [kNm]	FS	Verifica
Corrente	Campata	15.44	21.03	1.36	VERIFICATO!
Corrente	Appoggio	18.39	21.03	1.14	VERIFICATO!
Corrente	Sbalzo	8.30	21.03	2.53	VERIFICATO!
Estremità	Campata	30.45	30.67	1.01	VERIFICATO!
Estremità	Appoggio	29.94	30.67	1.02	VERIFICATO!
Estremità	Sbalzo	8.30	30.67	3.70	VERIFICATO!
Taglio					
Sezione	Posizione	V _{ED} [kN]	V _{RD} [kN]	FS	Verifica
Corrente	Appoggio	101.48	167.29	1.65	VERIFICATO!
Corrente	Sbalzo	17.70	167.29	9.45	VERIFICATO!
Estremità	Appoggio	165.86	167.29	1.01	VERIFICATO!
Estremità	Sbalzo	17.70	167.29	9.45	VERIFICATO!

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta Sezione Corrente

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	22

N°	As [cm²]	d [cm]
1	2,51	2
2	2,51	20

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N Centro Baricentro cls Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 21,03 kN m

σ_c -23,37 N/mm²
σ_s 396,8 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 63,46 ‰
d 20 cm
x 1,045 x/d 0,05227
δ 0,7

Materiali B450C C25/30

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 396,8 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 23,37 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
ε_{syd} 1,984 ‰ σ_{c,adm} 9,75
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
τ_{c1} 1,829

Metodo di calcolo S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta Sezione di estremità

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	22

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3,77	2
2	3,77	20

Tipo Sezione
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 0 0 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C25/30

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 396,8 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 23,37
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 ε_{syd} 1,984 ‰ σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{xRd} -30,67 kN m
 σ_c -23,37 N/mm²
 σ_s 396,8 N/mm²
 ε_c 3,5 ‰
 ε_s 46,75 ‰
 d 20 cm
 x 1,393 x/d 0,06965
 δ 0,7

Il taglio resistente per l'elemento non armato a taglio è stato valutato come indicato dalle Linee guida 2020, di seguito si riporta la formulazione.

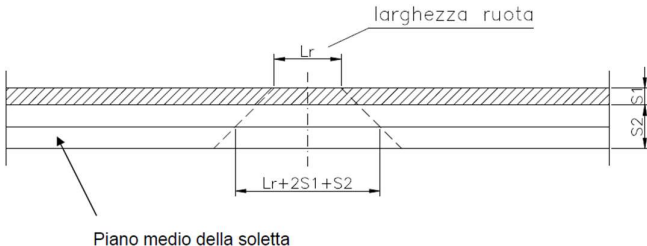
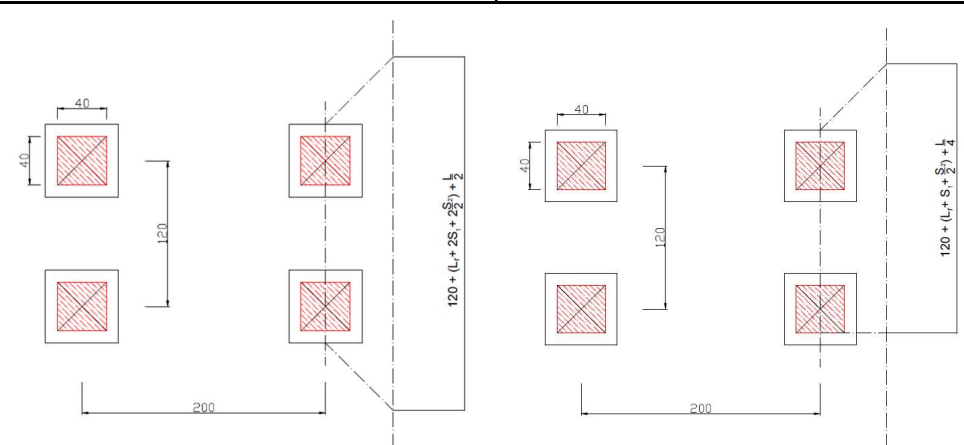
$$V_{Rd} = \frac{0,3\sqrt{f_{ck}}b_w d}{\gamma_c (1 + 0,0022d)}$$

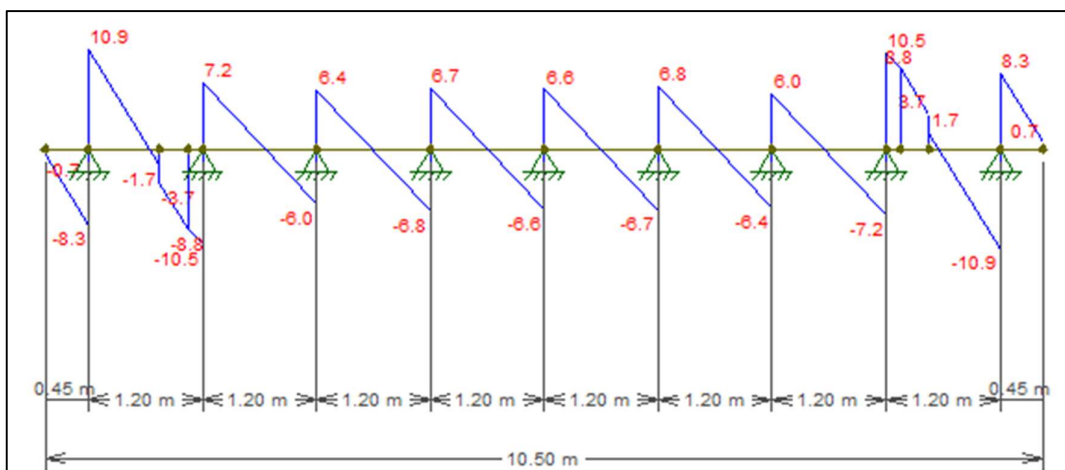
dove le grandezze sono misurate in MPa e mm ed i simboli hanno lo stesso significato della NTC.

Come riportato nella verifica, il taglio resistente è pari a 167.29 kN/m

2. Campate 4-5-6-7

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE IMPALCATO DEL PONTE			
Lunghezza della trave (trave luce max)	L	16	[m]
Soletta collaborante (travi centrali)	i	1.20	[m]
Lunghezza complessiva impalcato	L _{impalcato}	200.00	[m]
Larghezza impalcato	L _{impalcato}	10.50	[m]
Larghezza marciapiede	L _{marciapiede}	1.50	[m]
Larghezza base trave	b _w	0.32	[m]
Altezza soletta	H _{soletta}	0.22	[m]
Numero travi	N°	9.00	[-]
Sbalzo bordo da interasse trave	λ _{sbalzo}	0.45	[m]
Sbalzo bordo da bordo trave	λ _{sbalzo fine anima}	0.29	[m]
Larghezza cordolo	L _{cordolo}	1.50	[m]
Altezza cordolo	H _{cordolo}	0.50	[m]
STRATI DI PAVIMENTAZIONE			
Strato di stabilizzato/impermeabilizzante	Sp _{stabilizzato}	0.00	[m]
Strato di Binder in misto Cementato	Sp _{mistocementato}	0.14	[m]
Strato di Usura	Sp _{usura}	0.00	[m]
Peso Specifico Stabilizzato	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m³]
Peso Specifico Pavimentazione (binder)	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m³]
Peso Specifico Pavimentazione (usura)	Y _{pavimentazione}	19.00	[Kg/m³]
CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI E NON STRUTTURALI			
Peso proprio strutturale Soletta	G _{1,soletta}	5.50	[Kn/m²]
Peso cordolo	G _{1,cordolo}	12.50	[Kn/m²]
Peso Permanente portato Stabilizzato	G _{2,stabilizzato}	0.00	[Kn/m²]
Peso Permanente portato Binder	G _{2,Binder}	2.66	[Kn/m²]
Peso Permanente portato Usura	G _{2,strato di usura}	0.00	[Kn/m²]
Totale Pesi Portati	G _{2,tot}	2.66	[Kn/m²]
Peso Barriera	G _{2,barriera}	1.50	[Kn/m]
Peso Barriera 2	G _{2,veletta}	0.50	[Kn/m]
Peso Impianti (lato valle)	G _{2,impianti lato valle}	0.50	[Kn/m]
Peso Impianti (lato monte)	G _{2,impianti lato monte}	0.00	[Kn/m]
Peso Pavimentazione marciapiede	G _{2,marciapiede}	0.00	[Kn/m²]

CARICHI DA TRAFFICO		
CAMPATA		
Schema di Carico 1		
Diffusione del carico		
<div></div>		
Larghezza della ruota da schema 1 (40x40cm)	$L_{r,schema\ 1}$	0.40 [m]
Spessore totale della pavimentazione (minimo)	S_1	0.14 [m]
Spessore della soletta	S_2	0.22 [m]
SEZIONE CORRENTE		
Diffusione del carico in direzione longitudinale	$D_{soletta,schema\ 1}$	0.90 [m]
Diffusione del carico in direzione trasversale	$D_{soletta,schema\ 1}$	0.90 [m]
SEZIONE D'ESTREMITA (PROSSIMITA' GIUNTI)		
Diffusione del carico in direzione longitudinale	$D_{soletta,schema\ 1}$	0.65 [m]
Diffusione del carico in direzione trasversale	$D_{soletta,schema\ 1}$	0.65 [m]
SEZIONE CORRENTE (schema 1)	SEZIONE D'ESTREMITA (schema 1)	
<div></div>		
SEZIONE CORRENTE		
Schema di carico 1 Sezione corrente (figura Sx)	$B_{sez.res.\ 1,corrente}$	2.70 [m]
SEZIONE D'ESTREMITA (PROSSIMITA' GIUNTI)		
Schema di carico 1 Sezione d'estremità (figura Dx)	$B_{sez.res.\ 1,estremità}$	2.15 [m]



MOMENTO SOLLECITANTE (RISULTATI FTOOL)

Momento dato dai carichi permanenti	$M^+_{p, \text{appoggio centrale}}$	1.40	[Kn*m/m]
Momento dato dai carichi permanenti	$M^+_{p, \text{appoggio sbalzo}}$	2.00	
Momento dato dai carichi permanenti	$M^+_{p, \text{mezzeria}}$	0.70	[Kn*m/m]

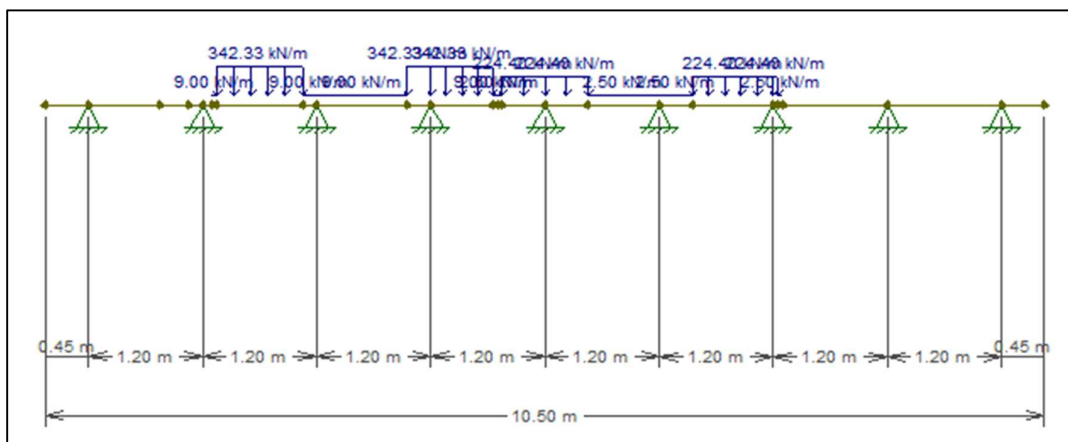
TAGLIO SOLLECITANTE (RISULTATI FTOOL)

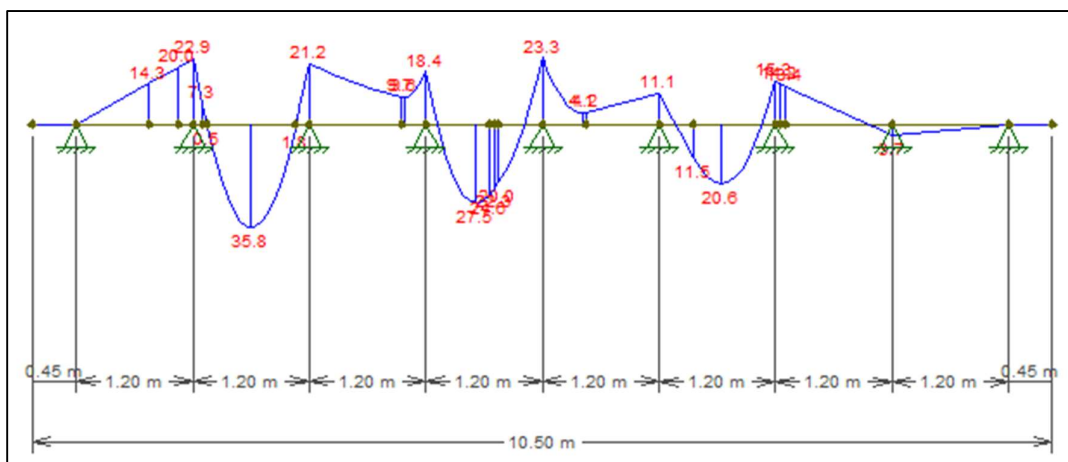
Taglio dato dai carichi permanenti	$T_{\text{appoggio, sbalzo}}$	10.90	[Kn/m]
Taglio dato dai carichi permanenti	$T_{\text{appoggio centrale}}$	6.80	[Kn/m]

SOLLECITAZIONI CARICHI DA TRAFFICO

SCHEMA DI CARICO 1

Massimo momento positivo Campata





Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)

M+ 35.80 [Kn*m/b]

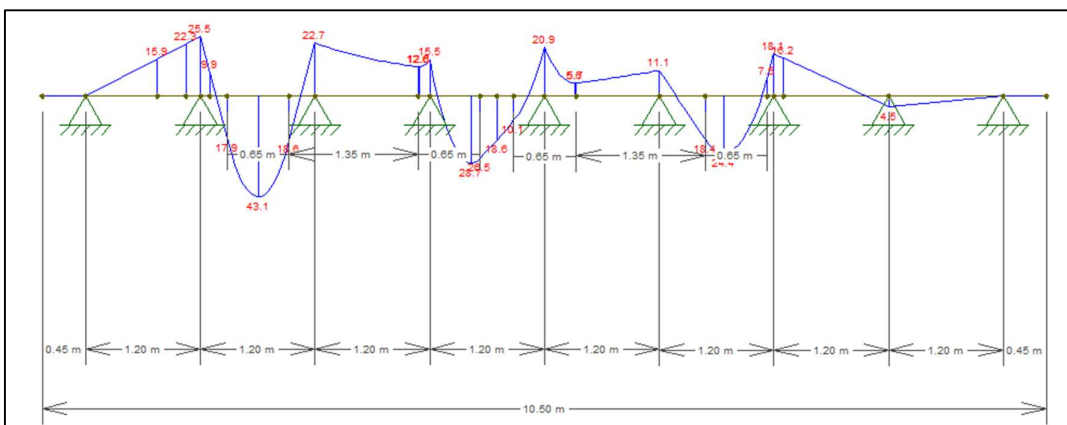
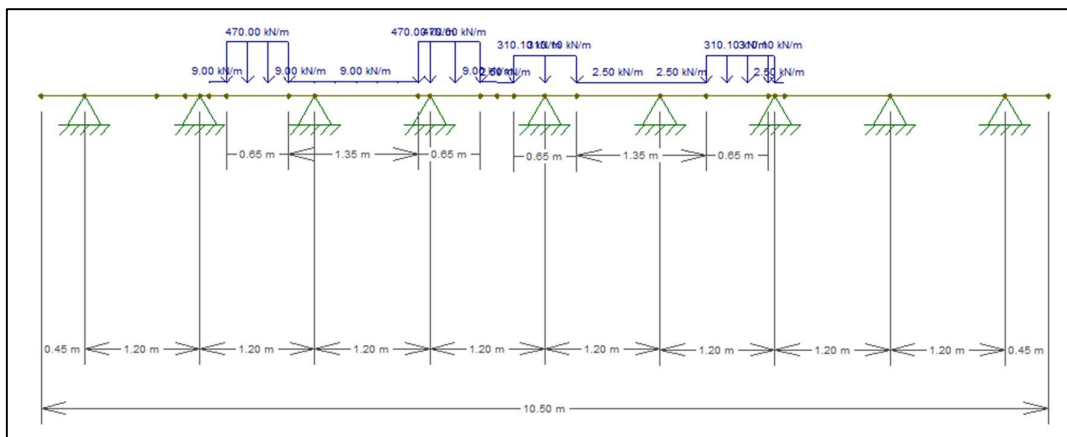
Momento fattorizzato

1.35 M+ 48.33 [Kn*m/b]

Momento unitario fattorizzato CORRENTE

m+ 17.90 [Kn*m/m]

Massimo momento positivo Campata-Estremità



Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)

M+ 43.10 [Kn*m/b]

Momento fattorizzato

1.35 M+ 58.185 [Kn*m/b]

Coefficiente di amplificazione dinamico

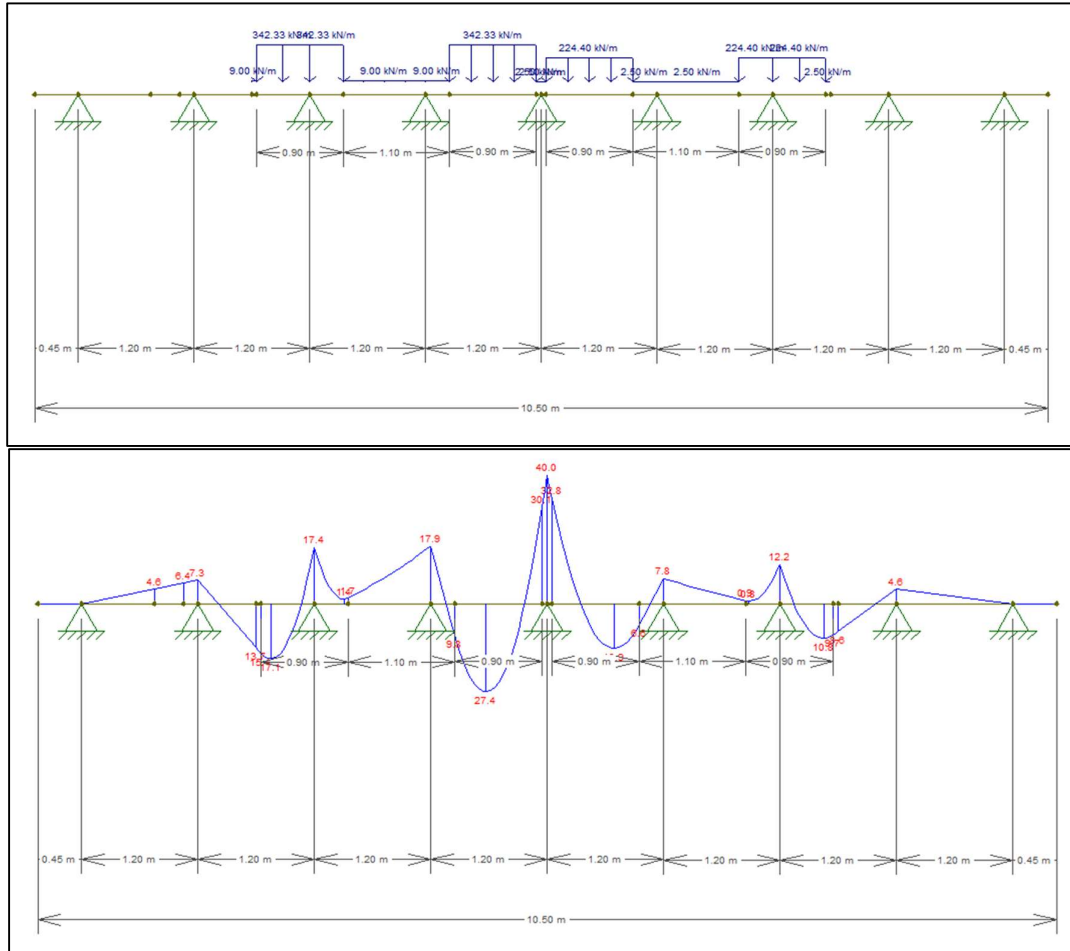
ϕ 1.3

Momento unitario fattorizzato ESTREMITA'

m+ 35.18 [Kn*m/m]



Massimo momento negativo Appoggio



Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)

M- 40.00 [Kn*m/b]

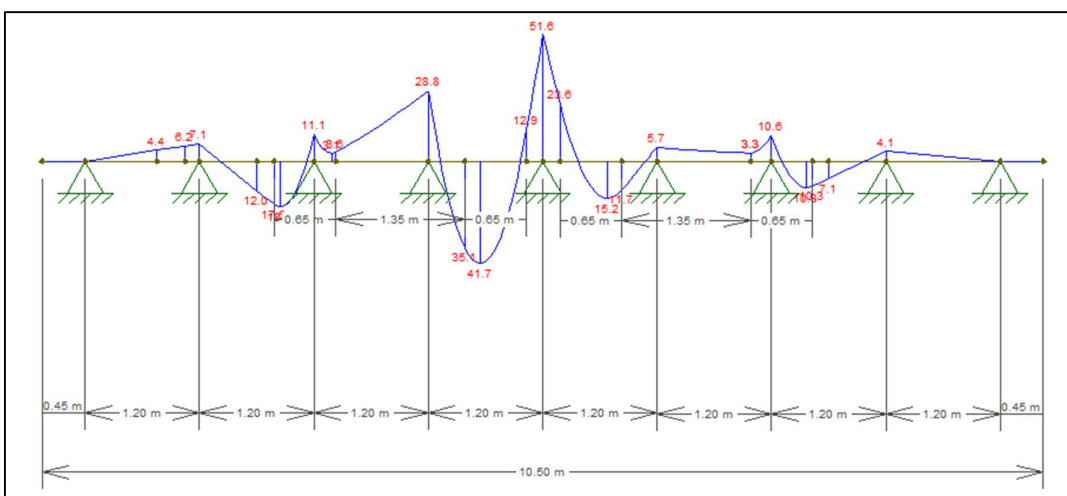
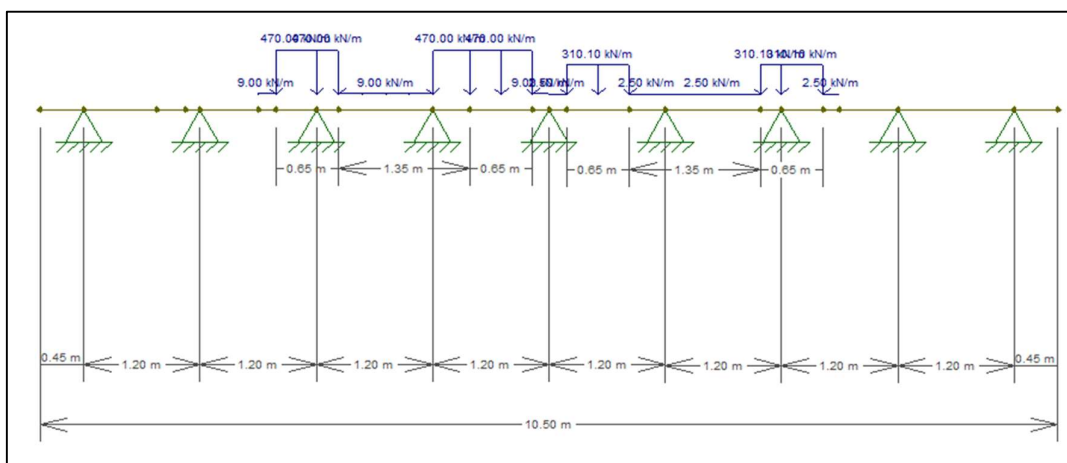
Momento fattorizzato

1.35 M- 54 [Kn*m/b]

Momento unitario fattorizzato CORRENTE

m- 20.00 [Kn*m/m]

Massimo momento negativo Campata-Estremità



Momento non fattorizzato (Risultato FTOOL)

M- 40.00 [Kn*m/b]

Momento fattorizzato

1.35 M- 54 [Kn*m/b]

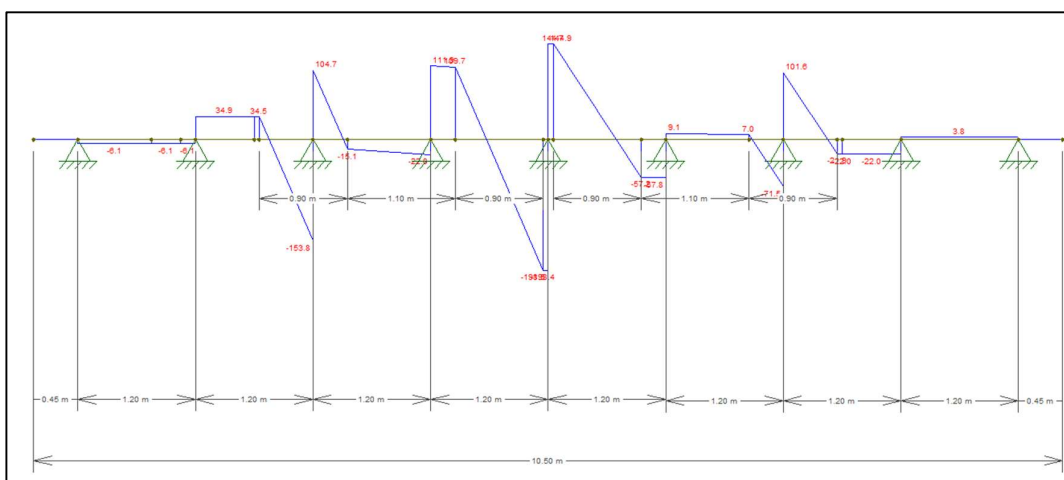
Coefficiente di amplificazione dinamico

ϕ 1.3

Momento unitario fattorizzato ESTREMITA'

m- 32.65 [Kn*m/m]

Massimo Taglio Campata



Taglio non fattorizzato (Risultato FTOOL)

T **198.50** [Kn/b]

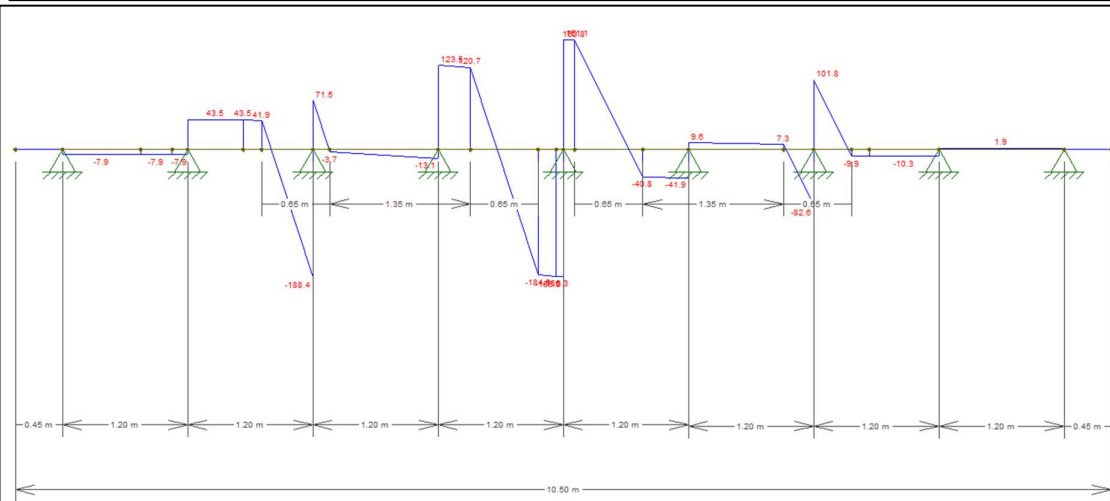
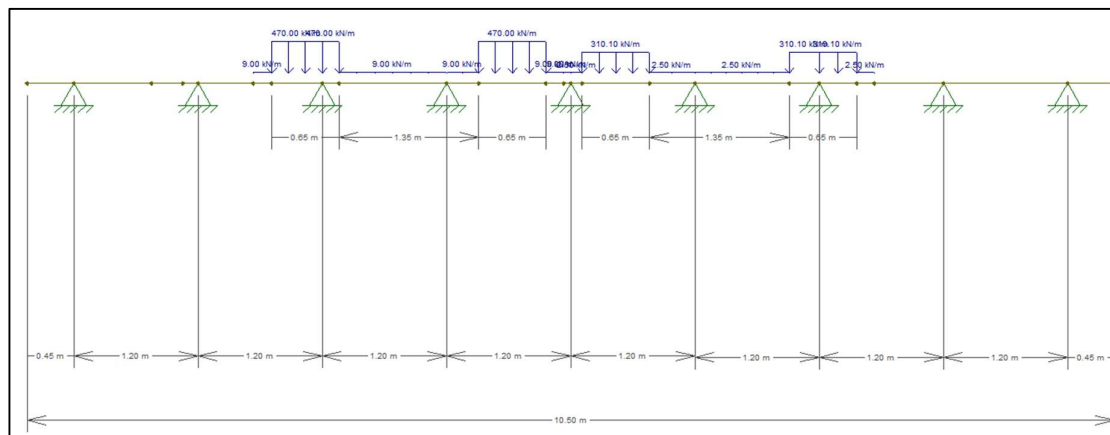
Taglio fattorizzato

1.35 T 267.975 [Kn/b]

Taglio unitario fattorizzato CORRENTE

t 99.25 [Kn/m]

Massimo Taglio Campata-Estremità



Taglio non fattorizzato (Risultato FTOOL)

T **188.40** [Kn/b]

Taglio fattorizzato

1.35 T 254.34 [Kn/b]

Coefficiente di amplificazione dinamico

ϕ 1.3

Taglio unitario fattorizzato ESTREMITA'

t 153.79 [Kn/m]

VERIFICA DI PONTE ADEGUATO

Soletta

Flessione

Sezione	Posizione	M_{ED} [kNm]	M_{RD} [kNm]	FS	Verifica
Corrente	Campata	18.60	36.19	1.95	VERIFICATO!
Corrente	Appoggio	21.40	36.19	1.69	VERIFICATO!
Corrente	Sbalzo	2.00	36.19	18.10	VERIFICATO!
Estremità	Campata	35.88	36.19	1.01	VERIFICATO!
Estremità	Appoggio	34.05	36.19	1.06	VERIFICATO!
Estremità	Sbalzo	2.00	36.19	18.10	VERIFICATO!

Taglio

Sezione	Posizione	V_{ED} [kN]	V_{RD} [kN]	FS	Verifica
---------	-----------	---------------	---------------	----	----------



Corrente	Appoggio	106.05	167.29	1.58	VERIFICATO!
Corrente	Sbalzo	10.90	167.29	15.35	VERIFICATO!
Estremità	Appoggio	160.59	167.29	1.04	VERIFICATO!
Estremità	Sbalzo	10.90	167.29	15.35	VERIFICATO!

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta Sezione Corrente_Campata 4-5-6-7

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	22

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4.52	2
2	4.52	20

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C25/30
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 396.8 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 23.37
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?
ε_{syd} 1.984 ‰ σ_{c,adm} 9.75
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6
τ_{c1} 1.829

M_{xRd} 36.19 kN m
σ_c -23.37 N/mm²
σ_s 396.8 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 43.16 ‰
d 20 cm
x 1.5 x/d 0.075
δ 0.7

Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
S.L.U.+ S.L.U.-
Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
Precompresso

Il taglio resistente per l'elemento non armato a taglio è stato valutato come indicato dalle Linee guida 2020, di seguito si riporta la formulazione.

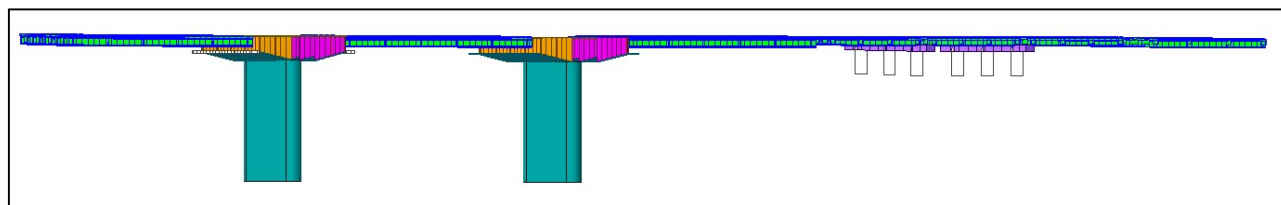
$$V_{Rd} = \frac{0.3\sqrt{f_{ck}}b_w d}{\gamma_c (1 + 0.0022d)}$$

dove le grandezze sono misurate in MPa e mm ed i simboli hanno lo stesso significato della NTC.

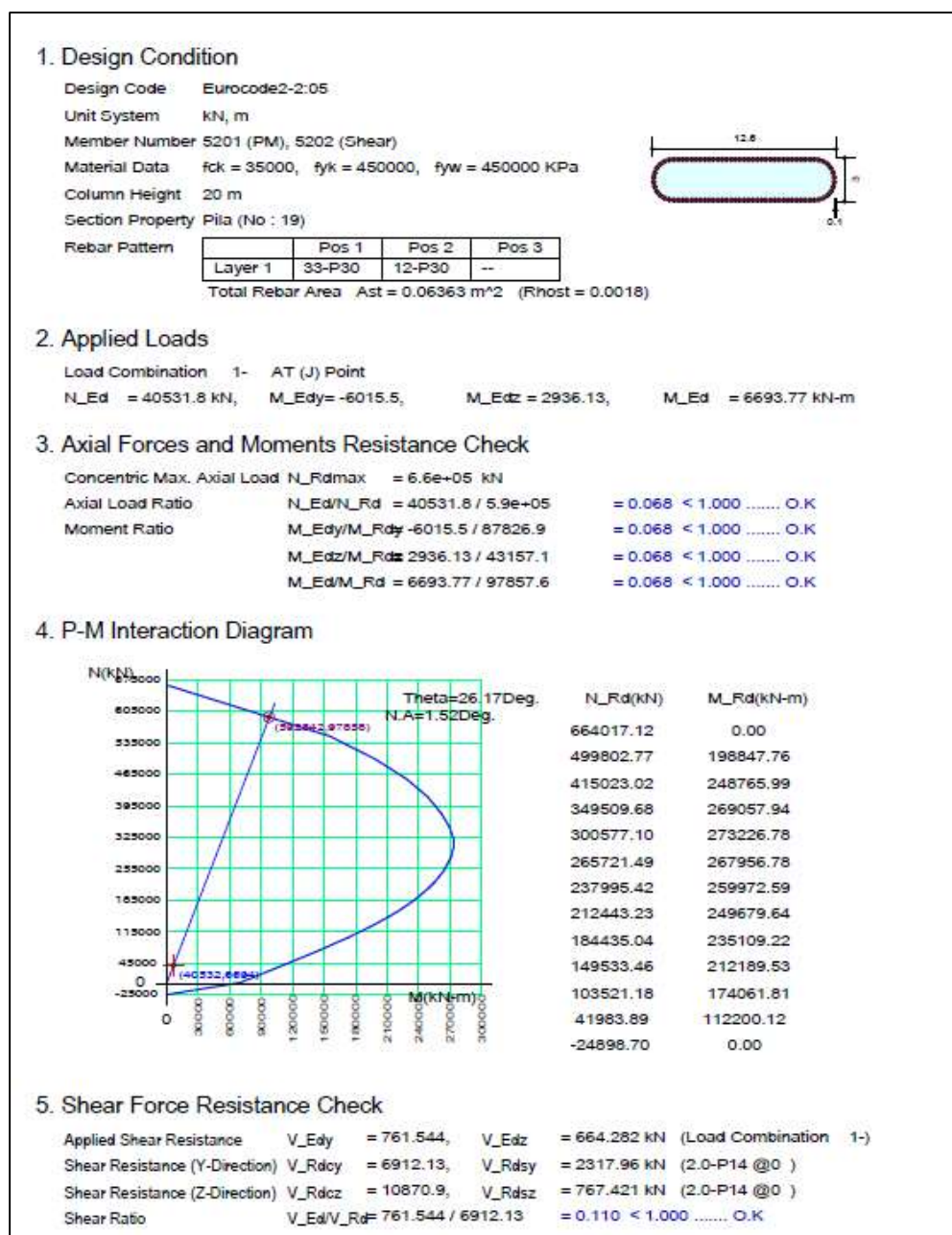
Come riportato nella verifica, il taglio resistente è pari a 167.29 kN/m

7.5 Verifica pile

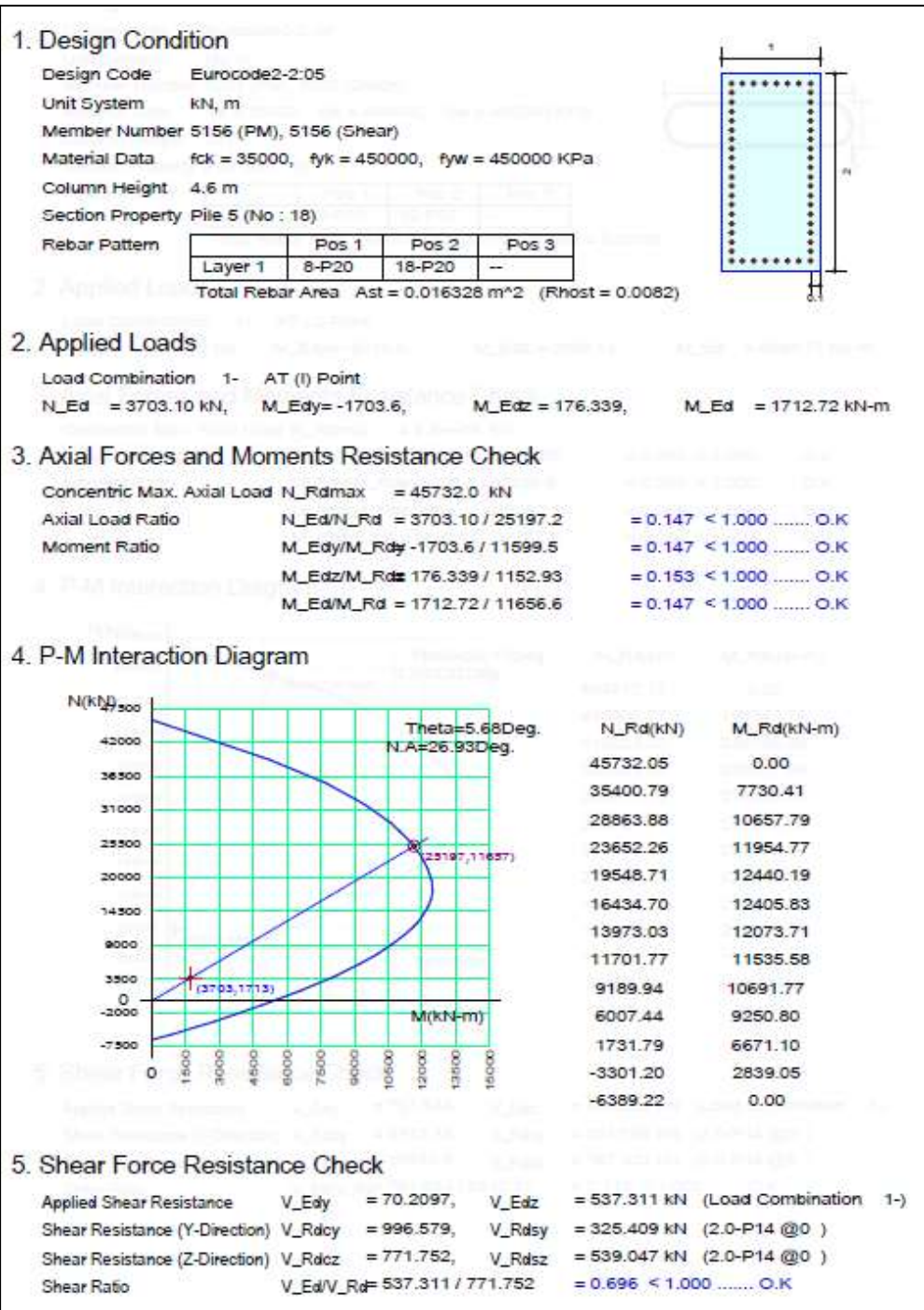
Le verifiche delle pile sono state condotte considerando le sollecitazioni maggiori per gli elementi con le medesime caratteristiche. In particolare, si riporta di seguito estratto delle verifiche a pressoflessione e taglio delle strutture verticali.



1. Pile in alveo

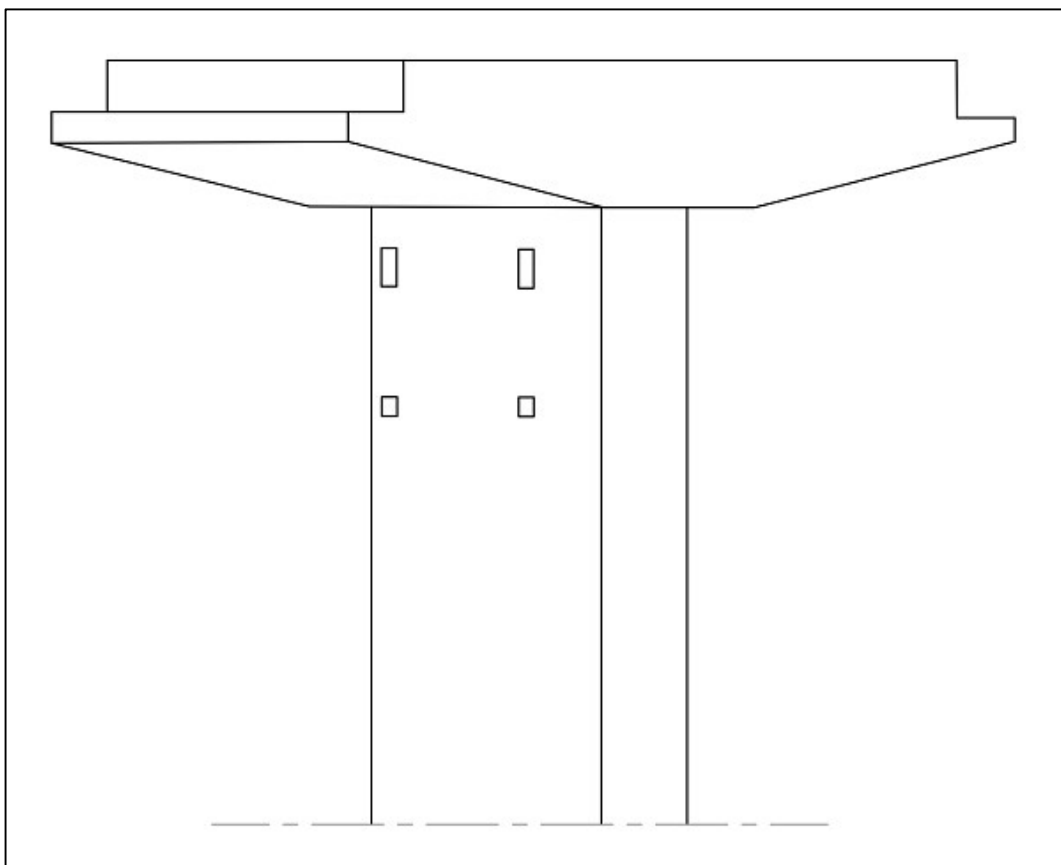


2. Pile basse

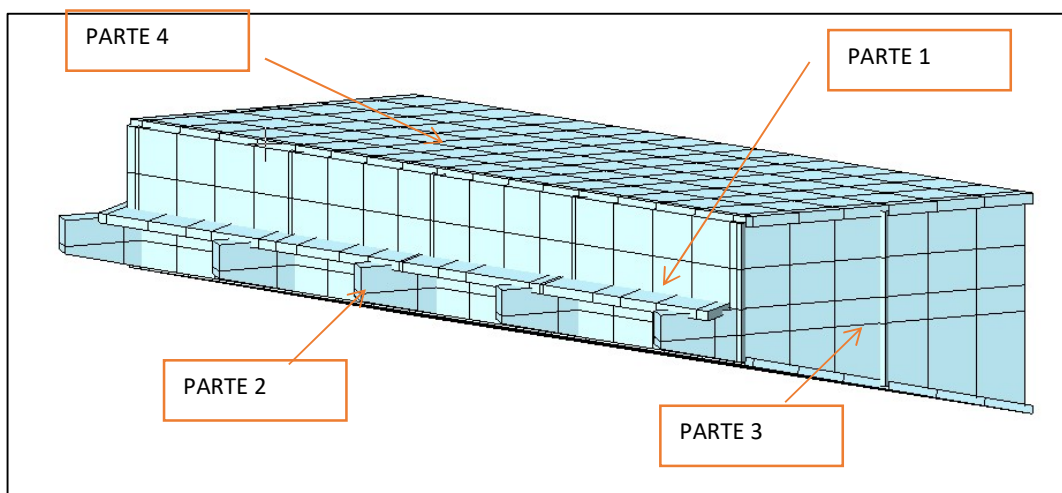


7.6 Verifica pulvino pile in alveo

La porzione di pulvino in cima alle pile 1-2 è stata analizzata con un modello specifico al fine di valutarne le prestazioni nei confronti delle azioni dovute ai carichi gravitazionali.

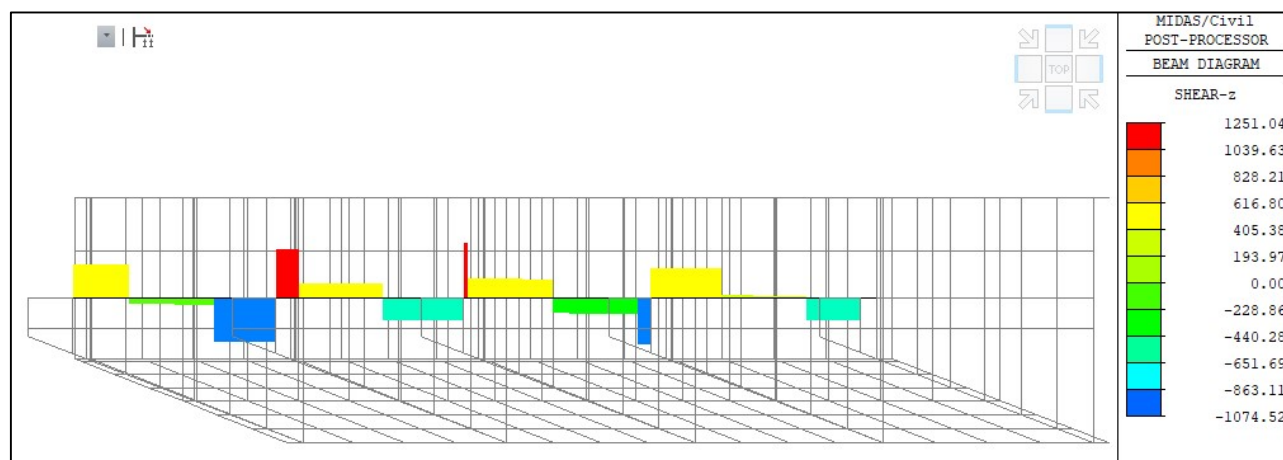
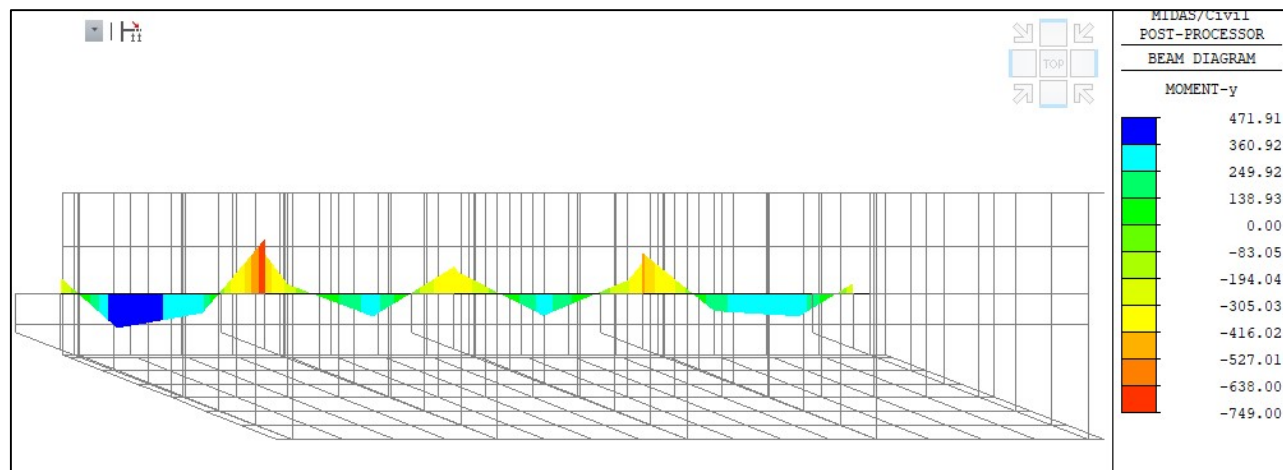


In particolare, il pulvino è costituito da un cassone chiuso il quale presenta 5 travi longitudinali e 3 trasversali. La porzione di pulvino su cui appoggiano le travi presenta uno schema statico del tipo trave su più appoggi. La caratterizzazione dell'elemento strutturale è stata dedotta a partire dallo studio della documentazione esistente e confermata attraverso un'analisi FEM in cui è stato modellato con elementi plate.



Sono stati applicati in seguito carichi concentrati in corrispondenza dell'appoggio delle travi pari alle reazioni vincolari dedotte dai modelli di calcolo della singola campata 1 nella condizione di carico allo SLU.

Le verifiche della PARTE 1 sono state condotte considerando l'elemento come una trave su più appoggi, da cui:



Verifica C.A. S.L.U. - File: Trapezio Soletta

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° Vertici 4 Zoom N° barre 2 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	99
3	120	99
4	120	39

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	40,84	60	96
2	40,84	60	25

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C25/30

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 396,8 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 23,37
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,984 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{xRd} 1.163 kN m

σ_c -23,37 N/mm²
 σ_s 396,8 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 61,49 ‰
d 74 cm
x 3,985 x/d 0,05385
 δ 0,7

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trapezio Soletta

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° Vertici 4 Zoom N° barre 2 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	99
3	120	99
4	120	39

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	40,84	60	96
2	40,84	60	25

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C25/30

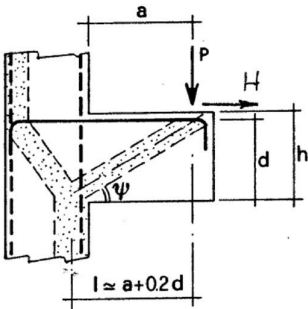
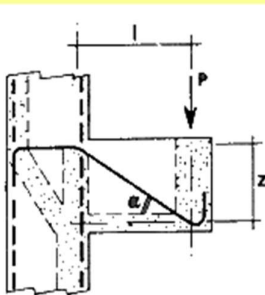
ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 396,8 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 23,37
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,984 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{xRd} -1.316 kN m

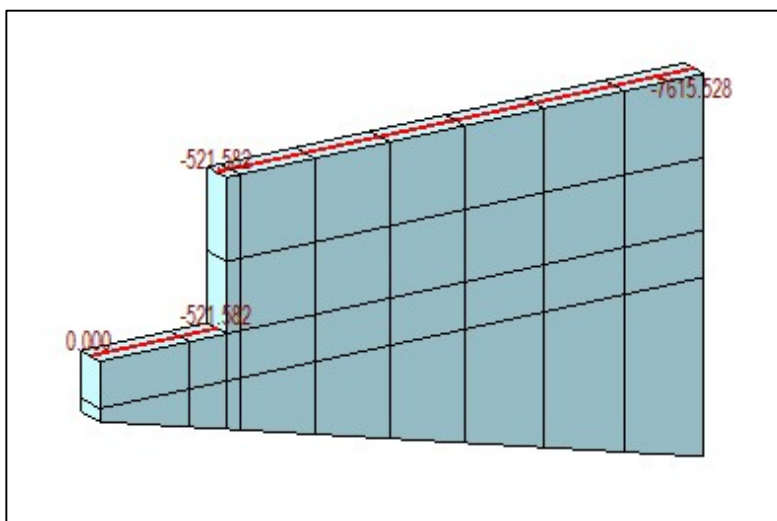
σ_c -23,37 N/mm²
 σ_s 396,8 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 9,702 ‰
d 96 cm
x 25,45 x/d 0,2651
 δ 0,7714

Le verifiche della PARTE 2 sono state condotte considerando l'elemento come un elemento tozzo e considerando il taglio massimo.

VERIFICA ELEMENTI TOZZI			NTC 2008	
AZIONI	V_{sd} (KN)	1251	<div>Elemento senza staffe</div> <div>γ 1.00 $\lambda = L/0,9d$ 0.99 α (°) 0.00 ψ (°) 45.3</div>	
	H_{sd} (KN)	0		
GEOMETRIA	h (cm)	60		
	c (cm)	2		
	d (cm)	58		
	a (cm)	40		
	b (cm)	140		
CLS	R_{ck} (MPa)	C40/45	<div>A'_s (cm²) 6.16 ϕ (mm) 14 n° 4.00</div>	
	f_{ck} (MPa)	37.35		
	f_{cd} (MPa)	21.17		
ARMATURA	f_{yk} (MPa)	450	<div>P_{Rc} (KN) 3476.93 P_{Rs} (KN) 2238.50 ΔP_{Rc} (KN) 0.00 ΔP_{Rs} (KN) 0.00 P_{Rd} (KN) 2238.50</div>	
	f_{yd} (MPa)	391.3		
	A_s			
	ϕ	30		
	n°	8.00		
	cm^2	56.55		



Le verifiche della PARTE 3 sono state condotte considerando l'elemento incastrato con un carico di punta derivante dal modello nella figura precedente. Le sollecitazioni flessionali sono quelle di seguito riportate.



Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave Spessore 36 Pulvino

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	36	400

N°	As [cm²]	d [cm]
1	63.62	4

Tipo Sezione
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N Ed 0 0 kN
 M xEd 0 0 kNm
 M yEd 0 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	26.23
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

M xRd -9.520 kN m

σ_c -26.23 N/mm²

σ_s 391.3 N/mm²

ϵ_c 3.5 ‰

ϵ_s 39.17 ‰

d 396 cm

x 32.48 x/d 0.08202

δ 0.7

In generale le verifiche condotte sul pulvino delle pile 1-2 risultano soddisfatte ad eccezione delle verifiche a taglio della PARTE 4, la quale è stata valutata come soletta e per la quale le verifiche non risultano soddisfatte nella sezione di estremità.

Sezione	Posizione	V _{ED} [kN]	V _{RD} [kN]	FS	Verifica
Estremità	Appoggio	429.41	98.71	0.23	Non Verificato!
Estremità	Sbalzo	17.70	98.71	5.58	VERIFICATO!

Pertanto, in detta zona è stato definito un intervento di adeguamento che prevede l'introduzione di armatura supplementare a taglio nella zona in prossimità del giunto di dilatazione per una larghezza di 1.50 m.

Si riporta di seguito il calcolo del taglio resistente con l'armatura aggiuntiva.

B	H	c	$\Phi_{lon.}$	d
(cm)	(cm)	(cm)	(mm)	(cm)
100.00	22.00	3.00	12.00	17.00

Nota Bene: c è la distanza tra la superficie esterna e il bordo della staffa

DATI STAFFATURA				
$\Phi_{st.}$	Braccia	s	α	A_{sw}
(mm)	(Num)	(cm)	(°)	(cm ²)
14.00	4.00	20.00	90.00	6.16

SOLLECITAZIONI				
N_{Ed}	V_{Ed}	M_{Ed}	σ_{cp}	α_c
(KN)	(KN)	(Knm)	(N/mm ²)	
0.00	429.41	-----	0.00	1

Nota Bene: ai sensi dell'art. 4.1.2.1.3.1 del D.M. 17/01/18 σ_{cp} è riportato comunque $\leq 0,20 f_c$

VERIFICA	
ctg(θ)	V_{Rd}
	(KN)
2.50	467.27
verifica soddisfatta	

f_{yk}	f_{cm}	f_{yd}	f_{cd}	f'_{cd}
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
		396.79	27.65	13.83

