

Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino dell'opera:
Ponte sulla SP27 Castroncello - Km 11+900 località Montecchio Vecchio
La Colmata - Comune di Castiglion Fiorentino (CUP: 127H21005060001)

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Luca Pigolotti

IL PROGETTISTA:

Ing. Umberto Rosatella

IL PROGETTISTA E

DL ARCHITETTONICO:

Arch. Renato Comerlati



DATA:

08/2026



ABICert
Tiene di certificazione
UNI EN ISO 9001:2015
Certificato n. QBC711
IFA34 Regolamento Tecnico RT21



ALE CONSULTING S.r.l. unico socio
40033 Casalecchio di Reno (BO)
03012 Anagni (FR)
61159 Genova (GE)
37020 Dolcè (VR)
C.F./P.Iva 02392500605
Tel: +39 051 573578
Sito: www.aleconsulting.it

G - PARTE STRUTTURALE

OGGETTO ELABORATO:

**RELAZIONE SPECIALISTICA -
VERIFICHE STRUTTURALI**

NUMERO PROGRESSIVO:

G001

SCALA:

-

CODICE ELABORATO:

STR.01

COMMESSA INTERNA:

21.22.PR.CSP

CODICE CIG:

926146852B

REVISIONE:

02

N°

DATA

00

12/2023

01

04/2026

SOMMARIO

1	RELAZIONE TECNICA GENERALE.....	3
1.1	OBIETTIVO E ANALISI DELLO STATO DI FATTO	3
1.2	TIPOLOGIA INTERVENTO.....	6
1.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' DI CALCOLO	7
1.4	CONSIDERAZIONI SUL SISTEMA FONDALE.....	7
1.5	CONSIDERAZIONI SULLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	7
2	RELAZIONE SUI MATERIALI.....	9
2.1	LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA (§ C8.5.4)	9
2.2	CLASSIFICAZIONE DEL CALCESTRUZZO (§ C8.5.4.2).....	11
2.2.1	CLASSIFICAZIONE DELL'ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO (§ C8.5.4.2).....	11
2.3	CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI DI NUOVA POSA	13
2.3.1	CALCESTRUZZO.....	13
3	ANALISI DEI CARICHI	14
3.1	§ 5.1.3.1. Azioni permanenti.....	14
3.2	§ 5.1.3.2. Distorsioni e deformazioni impresse	15
3.3	§ 5.1.3.3. azioni variabili da traffico: q_1	15
3.4	§ 5.1.3.4. INCREMENTO DINAMICO ADDIZIONALE IN PRESENZA DI DISCONTINUITA' STRUTTURALI: q_2	18
3.5	§ 5.1.3.5. AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE: q_3	18
3.6	§ 5.1.3.6. AZIONE CENTRIFUGA: q_4	18
3.6.1	§ 5.1.3.7. AZIONE DEL DI NEVE E VENTO: q_5	19
3.7	§ 5.1.3.8. AZIONE idrodinamiche: q_6	22
3.8	§ 5.1.3.9. AZIONE DELLA TEMPERATURA: q_7	22
3.9	§ 5.1.3.10. AZIONE sui parapetti e urto veicoli in svio: q_8	22
3.10	§ 5.1.3.11. RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI: q_9	22
3.11	§ 5.1.3.12. AZIONI SISMICHE: E	22
3.12	§ 5.1.3.12. AZIONI ECCEZIONALI: A	22
4	RELAZIONE DI CALCOLO – STATO DI FATTO	23
4.1	CASI DI CARICO E COMBINAZIONI AGLI STATI LIMITE ULTIMI	23
4.2	VERIFICA DELLA SOLETTA D'IMPALCATO.....	25
4.3	VERIFICA A FLESSIONE IN MEZZERIA (SLU).....	26
4.4	VERIFICA A FLESSIONE ALL'INCASTRO (SLU).....	28

4.5	VERIFICA DELLA SPALLA.....	29
4.5.1	VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALLA CERNIERA DI BASE (SLU)	31
4.5.2	VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALL'INCASTRO CON LA SOLETTA (SLU).....	33
4.6	CONSIDERAZIONI SULLE VERIFICHE DELLO STATO DI FATTO	34
5	RELAZIONE DI CALCOLO – ADEGUAMENTO STATICO	35
5.1	CASI DI CARICO E COMBINAZIONI AGLI STATI LIMITE ULTIMI	35
5.2	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA SOLETTA D'IMPALCATO ADEGUATA	36
5.2.2	VERIFICA A FLESSIONE IN MEZZERIA (SLU)	37
5.2.3	VERIFICA A FLESSIONE ALL'INCASTRO (SLU)	38
5.2.4	VERIFICHE A TAGLIO.....	40
5.2.5	VERIFICA A PUNZONAMENTO	47
5.3	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE SPALLE ADEGUATE.....	48
5.3.1	VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALLA CERNIERA DI BASE (SLU)	49
5.3.2	VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALL'INCASTRO DI TESTA (SLU)	51
5.3.3	VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA IN MEZZERIA (SLU)	54
5.3.4	VERIFICA A TAGLIO (SLU).....	57
6	PROGETTO DEI CORDOLI PORTA BARRIERA.....	60
6.1	PROGETTO DELLA SEZIONE DEL CORDOLO PORTA BARRIERE SU PONTE	60
6.1.1	descrizione del modello	60
6.1.2	Urto in mezzeria – Verifica della sezione all'incastro	62
6.1.3	Urto in PROSSIMITA' DELLA SPALLA – Verifica della sezione all'incastro.....	63
6.2	PROGETTO DELLA SEZIONE DEL CORDOLO PORTA BARRIERE SU SPALLE LATERALI....	65

1 RELAZIONE TECNICA GENERALE

1.1 OBIETTIVO E ANALISI DELLO STATO DI FATTO

La presente relazione tecnica ha lo scopo di eseguire le verifiche tecniche dei livelli di sicurezza in condizioni statiche finalizzate ad ottenere l'adeguamento statico del Ponte sulla S.P. 27 Castroncello Km 11+900 in località Montecchio Vecchio La Colmata nel Comune di Castiglion Fiorentino (AR).



Figura 1 Ripresa fotografia aerea del ponte

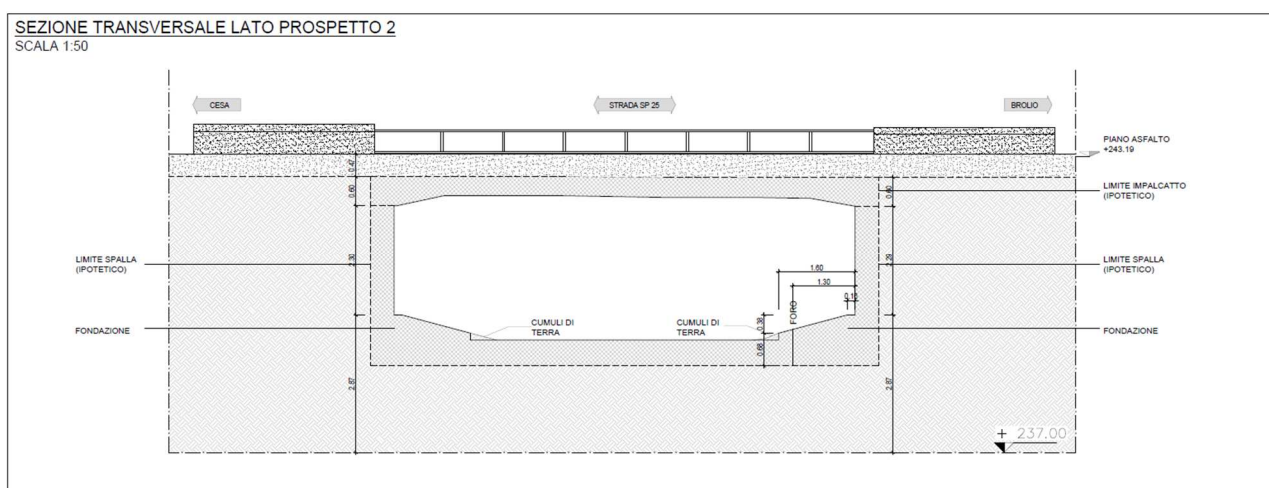


Figura 2 Sezione ricostruita sul rilievo del ponte

Trattasi di opera costruita in epoca non nota (presumibilmente nel primo dopoguerra a cavallo tra il 1950 e il 1960) con struttura interamente in c.a. del tipo scatolare con platea di fondazione, spalle

lateralali a sezione trapezoidale (presumibilmente progettata con un vincolo intermedio tra la cerniera e l'incastro puri nella sezione di raccordo con la fondazione) e soletta piana di impalcato con sezione di raccordo alla spalla incrementata (presumibilmente per garantire un incastro più efficace).

Lateralmente alle spalle in ambo le direzioni sono presenti due spalle di sostegno del terrapieno sconnesse dalla spalla di sostegno della soletta che appaiono collegate da un elemento posto al di sotto della quota di prolungamento della soletta di impalcato e pertanto perfettamente giuntate.

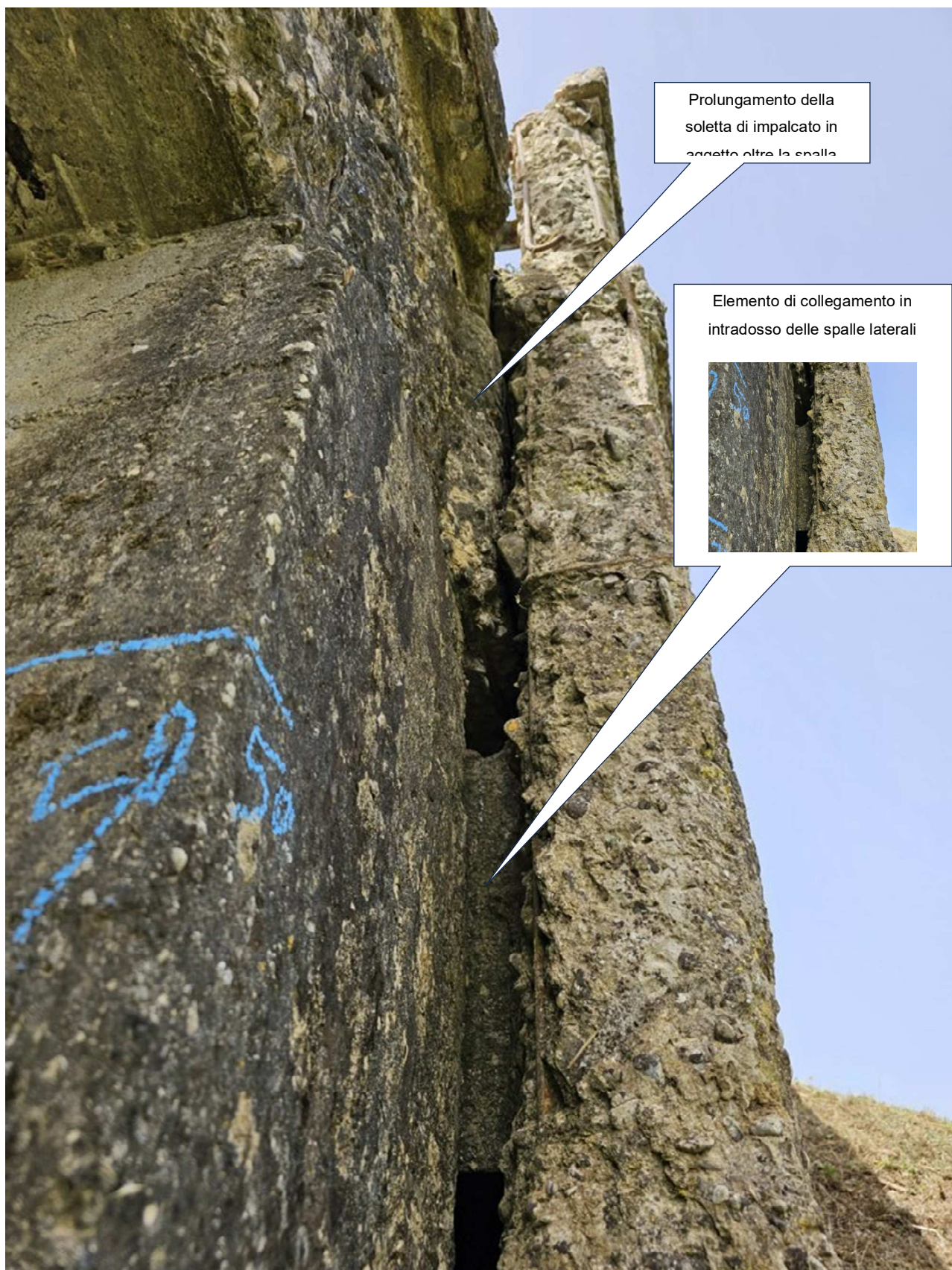


Figura 3 Fotografia di dettagli del punto di contatto tra le spalle laterali e quelle di sostegno dell'impalcato

La struttura pertanto risulta composta da due sottostrutture tra di loro indipendenti e giuntate, una primaria di sostegno dell'impalcato del tipo scatolare con soletta aggettante in ambo le direzioni ed una secondaria di sostegno del terrapieno costituita da due spalle di bordo ed una soletta apparentemente scarica di collegamento tra le stesse.

La struttura in elevazione dello scatolare, se si fa eccezione per gli elementi di maggior usura quali il cordolo di testa in sostegno al rilevato, appare in stato di conservazione sufficiente; non si rilevano infatti degradi eccessivi del calcestruzzo o espulsioni marcate del copriferro.

Preme precisare che la struttura si trova lungo il canale di uno scolmatore e che pertanto il contatto con l'acqua risulta saltuario in funzione delle condizioni meteorologiche, condizione che senza dubbio ha favorito la vita utile del ponte.

La struttura in elevazione delle spalle laterali invece, specialmente nella zona sommitale dove le stesse fungono da parapetto, versa in stato di conservazione non buono con evidente espulsione del copriferro e marcata corrosione delle armature presenti.

Le strutture di fondazione risultano, fatta eccezione per l'estradosso della porzione al di sotto della soletta di impalcato, non ispezionabili; preme comunque precisare che nella costruzione non sono presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni né fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli o di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni per cause naturali o antropiche.

1.2 TIPOLOGIA INTERVENTO

L'intervento progettuale prevede i seguenti interventi:

- Realizzazione di una coppia di travi in c.a. idonee all'ancoraggio delle barriere stradali di progetto, collegate alla soletta di impalcato ed alle spalle nella porzione in allargamento;
- Adeguamento statico del ponte ai carichi previsti dal D.M. 17/01/2018 tramite ispessimento all'intradosso della soletta di impalcato con nuova soletta armata di 15cm e ispessimento delle spalle con placcaggio armato di spessore pari a 20 cm.

Ai sensi del capitolo 8 delle N.T.C. 2018 l'intervento si configura come INTERVENTO LOCALE, in quanto migliorativo consentendo l'adeguamento statico del ponte senza però modificare il comportamento globale della struttura.

1.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' DI CALCOLO

Considerando l'obiettivo di adeguamento statico del ponte in oggetto ai carichi previsti dal D.M. 17/01/2018 l'analisi è stata condotta eseguendo modellando lo scatolare allo stato di fatto ed applicando i carichi come previsto dal Cap. 5 delle succitate norme tecniche.

Per la modellazione FEM è stato impiegato il software PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program (build 2023-06-199) Licenza dsi5854 prodotto dalla 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l.

Il modello è stato realizzato impiegando esclusivamente elementi D3 con vincoli di tipo incastro tra i singoli elementi ad eccezione dell'intersezione tra la spalla e la fondazione per la quale si è adottato uno svincolo totale.

Determinate le sollecitazioni di progetto si è proceduto alla verifica dei singoli elementi interessati al fine di costatarne l'adeguamento alle sollecitazioni di progetto.

Successivamente è stato impostato un ulteriore modello FEM di calcolo con un assetto statico variato, ovvero un assetto statico con la configurazione di adeguamento che ha previsto la modifica alle sezioni costruttive degli elementi primari la cui consistenza strutturale in termini di disposizione delle armature è stata ottenuta sempre operando con verifiche di tipo locale sui singoli elementi.

È stata infine progettata la nuova trave di bordo con funzione di trave porta barriera per la quale sono state considerate le sollecitazioni accidentale da urto del veicolo.

Preme precisare che le verifiche di adeguamento statico sono state condotte uniformando le caratteristiche dei materiali nuovi ed esistenti a quelle dei materiali esistenti e pertanto operando in favore di sicurezza.

1.4 CONSIDERAZIONI SUL SISTEMA FONDALE

Non essendo presenti nella costruzione importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni, fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche e/o fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione, in accordo con il §8.3 del D.M. 17/01/2018 la verifica del sistema di fondazione è stata omessa.

1.5 CONSIDERAZIONI SULLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

Non avendo rilevato nei sopralluoghi in situ e dalle analisi e dai rilievi condotti la presenza o l'innescio di fenomeni di escavazioni o di scalzamento in corrispondenza delle fondazioni, data anche la remota epoca di costruzione del manufatto, si ritiene che le azioni idrodinamiche per l'opera non siano

rilevanti dal punto di vista idraulico e pertanto le possibili azioni non sono state prese in considerazione nelle analisi globali.

Si precisa inoltre che le riduzioni delle sezioni utili di deflusso idraulico derivanti dalle opere in progetto, essendo le stesse contenute in variazioni inferiori al 3,5%, sono ininfluenti ai fini delle modifiche al profilo idraulico per i vari tempi di ritorno.

2 RELAZIONE SUI MATERIALI

2.1 LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA (§ C8.5.4)

Considerando che:

- Con riferimento al § C8.5.1, data l'ispezionabilità della struttura, è stato possibile eseguire un'analisi storico-critica commisurata al livello di conoscenza identificato in LC3;
- Con riferimento al § C8.5.2, considerando che sono state eseguite indagini ed analisi dettagliate con rilievi puntuali eseguiti sia a livello globale con laser scanner che locali attraverso l'esecuzione di fori e saggi per determinare l'effettivo spessore degli elementi, è stato possibile eseguire indagini esaustive commisurate al livello di conoscenza identificato in LC3;
- Con riferimento al § C8.5.3 è stato possibile eseguire verifiche estese su calcestruzzo e acciaio determinando le caratteristiche meccaniche dei materiali ed ottenendole attraverso l'esecuzione di prove di trazione e piegamento su campioni di acciaio e di compressione ed analisi chimica sui campioni di calcestruzzo prelevati in situ, il tutto commisurato al livello di conoscenza identificato in LC3;

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

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

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

Per il **calcestruzzo armato** il livello di conoscenza raggiunto è stato identificato in **LC3** (... "si intende raggiunto quando siano stati effettuati l'analisi storico-critica commisurata al livello considerato, come descritta al § C8.5.1, il rilievo geometrico, completo ed accurato in ogni sua parte, e indagini esaustive sui dettagli costruttivi, come descritto al § C8.5.2, prove esaustive sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, come indicato al § C8.5.3; il corrispondente fattore di

confidenza è $FC=1$ da applicarsi limitatamente ai valori di quei parametri per i quali sono state eseguite le prove e le indagini su citate, mentre per gli altri parametri meccanici il valore di FC è definito coerentemente con le corrispondenti prove limitate o estese eseguite"...).

2.2 CLASSIFICAZIONE DEL CALCESTRUZZO (§ C8.5.4.2)

I fattori di confidenza $FC=1,0$ determinato in funzione del livello di conoscenza acquisito, viene applicato al valor medio delle resistenze del calcestruzzo ottenuto dai campioni di prove distruttive, per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura, entro l'intervallo di confidenza considerato (intervallo di confidenza assunto pari al 95%).

CAROTAGGI	ELEMENTO	SIGLA		f_c (N/mm ²)	F_d	R_{ck} (N/mm ²)	massa kg/mc
h/d	1	SOLETTA	SP27 CH5	30,51	1,06	32,34	2310
h/d	1	SOLETTA	SP27 CH6	23,01	1,08	24,94	2230
MEDIA SOLETTA						28,64	2270

CAROTAGGI	ELEMENTO	SIGLA		f_c (N/mm ²)	F_d	R_{ck} (N/mm ²)	massa kg/mc
h/d	1	SPALLA	SP27 CH1	35,90	1,03	37,08	2330
h/d	1	SPALLA	SP27 CH3	22,87	1,08	24,80	2330
MEDIA SPALLA						30,94	2330

2.2.1 CLASSIFICAZIONE DELL'ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO (§ C8.5.4.2)

I fattori di confidenza $FC=1,0$ determinato in funzione del livello di conoscenza acquisito, viene applicato al valor medio delle resistenze dell'acciaio ottenuto dai campioni di prove distruttive per fornire una stima dei valori medi delle resistenze dei materiali della struttura, entro l'intervallo di confidenza considerato (intervallo di confidenza assunto pari al 95%).

ELEMENTO	SIGLA	DESCRIZIONE	Copriferro (mm)	A_{eq} (mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_t (N/mm ²)
SPALLA	SP27 B3	Barra liscia $\Phi 6$ mm	20	28,1	511,8	643,5
SOLETTA	SP27 B5	Barra liscia $\Phi 17$ mm	-	241,3	309,3	408,2
MEDIA					410,55	525,85

Data l'epoca di costruzione del ponte, le risultanze delle prove eseguite si può classificare l'acciaio come liscio semiduro ai sensi del R.D.L. n. 2229/1939.

Tabella 1 - Evoluzione temporale delle principali indicazioni normative relative alla classificazione degli acciai di armatura

Tabella 1 - Evoluzione temporale delle principali indicazioni normative relative alla classificazione degli acciai di armatura																
Normativa	R.D.L. n°2229/1939			LL.PP. n°1472/1957				D.M.30/05/1972					D.M. 30/05/1974			
Tipologia	liscio			liscio		a.m.		liscio		aderenza migliorata (a.m)			liscio		a.m.	
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro	Aq42	Aq50	Aq60		FeB22	FeB32	A38	A41	FeB44	FeB22	FeB32	FeB38	FeB44
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31	≥ 23	≥ 27	≥ 31	/	≥22	≥32	≥38	≥41	≥44	≥22	≥32	≥38	≥44
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70	42 - 50	50 - 60	60-70	/	≥34	≥50	≥46	≥50	≥55	≥34	≥50	≥46	≥55
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥24	≥23	≥14	≥14	≥12	≥24	≥23	≥14	≥12

2.3 CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI DI NUOVA POSA

2.3.1 CALCESTRUZZO

CALCESTRUZZO CLASSE C35/45			
Resistenza a compressione cubica caratteristica	f_{cm}	45	N/mm ²
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	f_{ck}	35	N/mm ²
Resistenza a trazione media	f_{ctm}	3,35	N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_c	1,5	
Modulo elastico	E_{cm}	34.625	N/mm ²
Classe di esposizione		XC4	
Classe di consistenza		S4 – S5	
Diametro massimo dell'aggregato		10 – 20	mm

2.3.1.1 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

ACCIAIO TIBO B450C			
Tensione ultima	f_{tk}	540	N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica	f_{yk}	450	N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{sm}	210	KN/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_s	1,15	
Rapporto	$(f_t/f_y)_k$	$1,15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1,35$	
Rapporto	$(f_y/f_{ynomk})_k$	$1,25 \geq (f_y/f_{ynomk})_k$	
Allungamento	A_{gt}	$\geq 7,5\%$	

3 ANALISI DEI CARICHI

3.1 § 5.1.3.1. Azioni permanenti

Carichi permanenti strutturali:

g₁ Peso proprio degli elementi

La determinazione del peso proprio degli elementi viene effettuata in automatico dal software di calcolo in relazione ai pesi specifici dei singoli materiali.

Carichi permanenti portati:

g_{2,1} Pavimentazione stradale

Considerando uno spessore medio di 0,45 m ed un peso specifico del sottofondo stradale rullato e compattato di circa 22,0 kN/m³ si ha che il carico distribuito uniforme della pavimentazione stradale è pari a 9,9 kN/m²

g_{2,2} Barriere di sicurezza stradale

L'incidenza della barriera stradale, trattandosi di barriera di tipo metallico, viene considerato pari a 1,0 kN/m.

Altre azioni permanenti:

g_{3,1} Spinta delle terre

La spinta del terreno sulle spalle è modellata come un carico di superficie con andamento incrementale lineare di tipo triangolare con valore in testa pari al carico da traffico per la corsia 1 (vedi successivo paragrafo per schemi di carico) e valore al piede incrementato di $S = K_A \cdot \gamma \cdot H$ con:

ψ	90
ϕ	25 (determinato come valore medio dei primi 2,00 mt di rilevato)
δ	17
β	0

$$K_A = \frac{\sin^2(\psi + \phi)}{\sin^2 \psi \sin(\psi - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\psi - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$K_A = 0,36$$

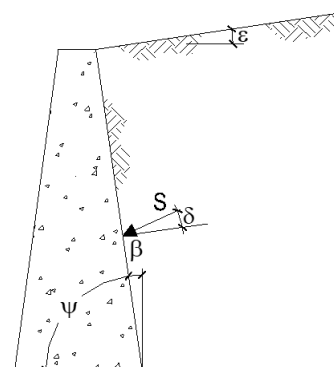
$$\gamma_K = 1850 \text{ daN/m}^3$$

$$E_{tk(+0.00)} = q_0 \cdot K_A = 9 \cdot 0,36 = 3,25 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{tk(-345.00)} = q_0 \cdot K_A + \gamma_K \cdot H \cdot K_A = 3,25 + 1,85 \cdot 3,45 \cdot 0,36 = 5,55 \text{ kN/m}$$

g_{3,2} Spinta idraulica

La spinta idraulica non è stata considerata per le motivazioni espresse nel paragrafo dedicato della relazione tecnica generale.



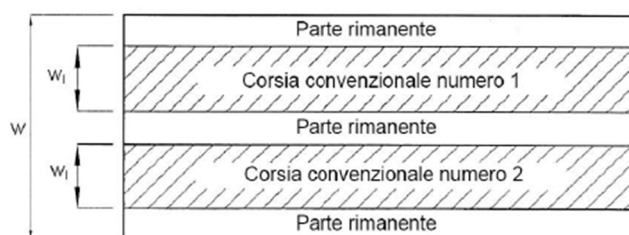
3.2 § 5.1.3.2. Distorsioni e deformazioni impresse

- ε_1 Distorsioni e sollecitazioni di progetto
- ε_2 Ritiro
- ε_3 Viscosità
- ε_4 Cedimenti vincolari

Gli effetti di cui al presente paragrafo non sono di interesse in quanto trattasi di struttura esistente.

3.3 § 5.1.3.3. azioni variabili da traffico: q_1

§ 5.1.3.3.2 Definizione delle corsie convenzionali



Corsia 1: direzione CESA

Corsia 2: direzione BROLIO

Non ci sono corsie con effetto più sfavorevole

Tab. 5.1.I - Numero e larghezza delle corsie

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_l = 1$	3,00	$(w - 3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

$w = 6,26 \text{ mt}$

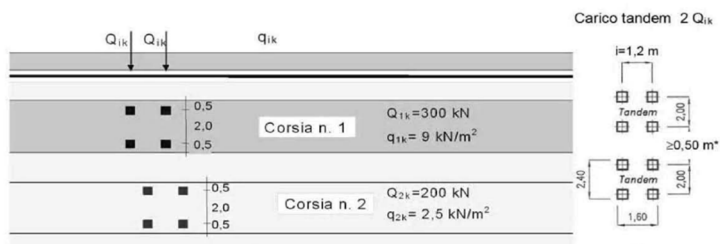
Numero di corsie convenzionali: 2

Larghezza di una corsia convenzionale: 3,00 mt

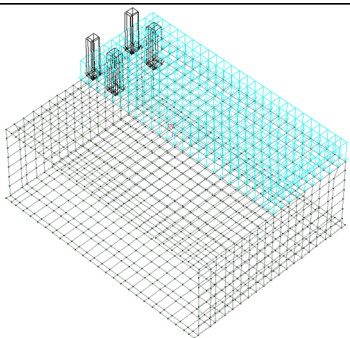
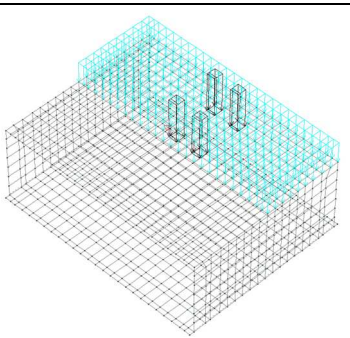
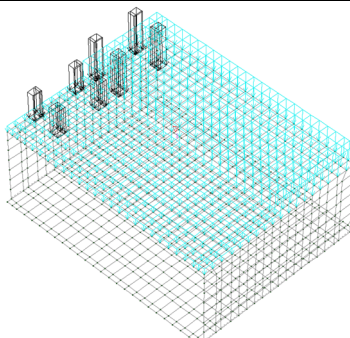
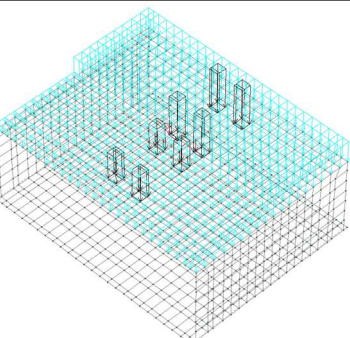
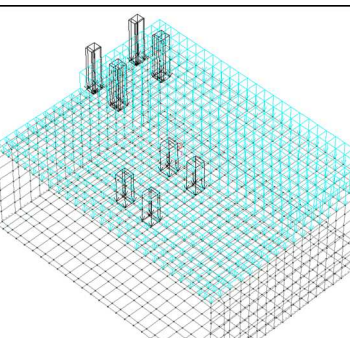
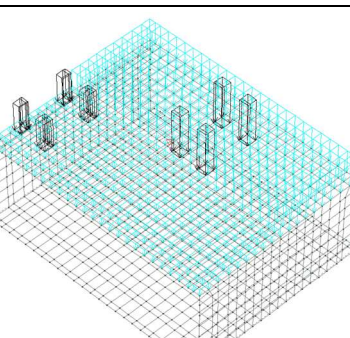
Larghezza della zona rimanente: 0,26 mt

§ 5.1.3.3.3 Schemi di carico - § 5.1.3.3.5 Disposizione dei carichi mobili per realizzare le condizioni più gravose

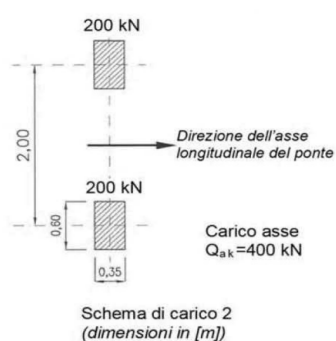
Schema di Carico 1



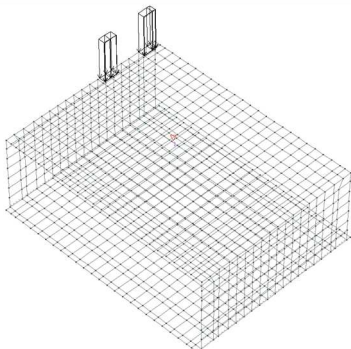
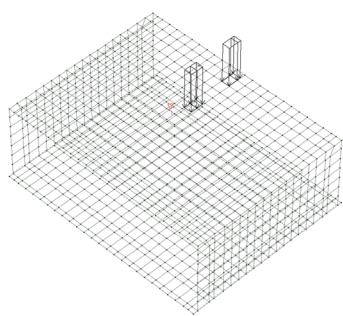
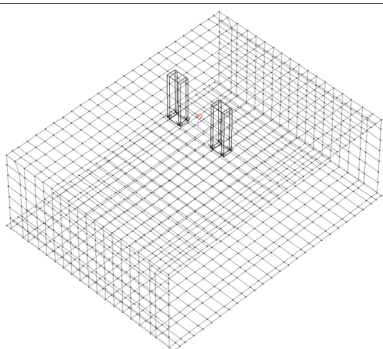
Distanza minima dei carichi tandem: 0,50 mt

Caso di carico 1a		Caso di carico 1b	
Caso di carico 1c		Caso di carico 1d	
Caso di carico 1e		Caso di carico 1f	

Schema di Carico 2



Lo schema di carico 2 viene considerato come valore frequente combinato con l'azione di frenatura in valore caratteristico (rif. Tab. 5.1.IV) posizionando le impronte in corsia 1 sul lato spalla, in mezzzeria e al centro della carreggiata (solo per verifiche globali).

Caso di carico 2a		Caso di carico 2b	
Caso di carico 2c			

3.4 § 5.1.3.4. INCREMENTO DINAMICO ADDIZIONALE IN PRESENZA DI DISCONTINUITA' STRUTTURALI: q_2

Gli effetti di cui al presente paragrafo non sono di interesse in quanto non sono presenti discontinuità strutturali.

3.5 § 5.1.3.5. AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE: q_3

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,1q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

$$w_1 = 3,00 \text{ mt}$$

$$L = \text{lunghezza zona caricata} = 10,00 \text{ mt}$$

$$180 \text{ kN} \leq 387 \text{ kN} \leq 900 \text{ kN}$$

$$q_3 = 387 \text{ kN}$$

La forza è considerata come uniformemente distribuita sulla intera lunghezza caricata al livello della pavimentazione.

3.6 § 5.1.3.6. AZIONE CENTRIFUGA: q_4

Gli effetti di cui al presente paragrafo non sono di interesse in quanto il ponte non ha asse curvo.

3.6.1 § 5.1.3.7. AZIONE DEL DI NEVE E VENTO: q_5

NEVE

Ubicazione:

Località	CASTIGLION FIORENTINO
Provincia	AREZZO
Regione	TOSCANA
Latitudine	43,34100 N
Longitudine	11,92400 E
Altitudine s.l.m.	345,0 m

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

Circolare n.7 - 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

Il carico della neve sulle coperture è calcolato in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

Ce: coefficiente di esposizione al vento;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

as: altitudine del sito;

qsk: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per $Tr = 50$ anni);

Zona	Esposizione	Ce	TR	as	qsk
II	Battuta dai venti	0,90	50 anni	345 m	128,73

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 0,0^\circ$

- Copertura piana $W = 6.5$ m, $L = 10.0$ m $\Rightarrow L_c = 8.8$, $C_{ef} = 1.000$

$m_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 93$ daN/mq

VENTO

Si considera il vento agente lateralmente come forza distribuita tenendo presente che la pressione sarà distribuita sull'altezza equivalente data dallo spessore della soletta sommato all'altezza di un

ipotetico veicolo ma effettivamente applicata come carico distribuito lineare trasversale sulla sola soletta.

$$H_{\text{soletta}} + H_{\text{rilevato}} = 0,90 \text{ mt}$$

$$H_{\text{veicolo}} = 4,30 \text{ mt}$$

$$H_{\text{calcolo}} = 5,20 \text{ mt}$$

§3.3.7 Coefficiente di esposizione

$$K_r = 0,19$$

$$z_0 = 0,05 \text{ mt}$$

$$z_{\text{min}} = 4,0 \text{ mt}$$

$$c_e = 1,95$$

§3.3.8 Coefficienti aerodinamici

§3.3.8.1.1 Pareti verticali

$$C_p = 0,7 + 0,1 \cdot h/d = 0,7 + 0,1 \cdot (5,20/3,00) = 0,84$$

Ubicazione:

Località	CASTIGLION FIORENTINO
Provincia	AREZZO
Regione	TOSCANA
Latitudine	43,34100 N
Longitudine	11,92400 E
Altitudine s.l.m.	345,0 m

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

Circolare n.7 - 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

La velocità del vento è calcolata in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale (NTC - Tab. 3.3.I);

V_{b,0}: velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

a₀: altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

k_s: parametro in funzione della zona in cui sorge la costruzione (NTC - Tab. 3.3.I);

a_s: altitudine del sito;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

V_b: velocità di riferimento calcolata come segue:

$$V_b = V_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$V_b = V_{b,0} (1 + k_s ((a_s / a_0) - 1)) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

per $a_s > 1500 \text{ m}$ vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per $a_s = 1500 \text{ m}$

Cr: coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno TR

Vr: velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno TR

Zona	V _{b,0}	a ₀	k _s	a _s	TR	V _b	Cr	V _r
3	27 m/s	500 m	0,37	345 m	50 anni	27,00 m/s	1,000	27,00 m/s

Pressione cinetica di riferimento, $q_r = r V_r^2 / 2 = 46 \text{ daN/mq}$

dove: r è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc)

Esposizione: Cat. II - Entroterra fino a 500 m di altitudine

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

K _r	z ₀	z min
0,19	0,05 m	4 m

Classe di rugosità del terreno: D (NTC - Tab. 3.3.III)

Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'azione del vento sulle costruzioni è determinata dai seguenti parametri:

C_p: coefficiente di pressione;

C_d: coefficiente dinamico;

C_t: coefficiente di topografia;

C_e: coefficiente di esposizione (funzione di z , z_0 e C_t);

z : altezza sul suolo.

C _p	C _d	C _t	C _e	z
0,84	1,00	1,00	1,95	5,20 m

Pressione del vento

$$p = q_r C_e C_p C_d = 75 \text{ daN/mq}$$

Considerando l'altezza totale di 5,20 mt si ha che la pressione distribuita è pari a 3,9 kN/m.

3.7 § 5.1.3.8. AZIONE idrodinamiche: q_6

Le azioni idrodinamiche non sono state considerate per le motivazioni espresse nel paragrafo dedicato della relazione tecnica generale.

3.8 § 5.1.3.9. AZIONE DELLA TEMPERATURA: q_7

Le temperature esterne, T_{max} (massima estiva) e T_{min} (minima invernale), sono calcolate secondo le seguenti espressioni riferite alla zona climatica:

$$T_{min} = -8 - 6 \text{ as} / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.3})$$

$$T_{max} = 42 - 2 \text{ as} / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.4})$$

dove as è l'altitudine di riferimento

Zona	as	T min	T max
II	345 m	-10,07 °C	41,31 °C

3.9 § 5.1.3.10. AZIONE sui parapetti e urto veicoli in svio: q_8

Da considerare per le verifiche locali dell'impalcato.

3.10 § 5.1.3.11. RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI: q_9

Le resistenze passive dei vincoli nel presente contesto non sono considerate perché trattasi di scatolare in calcestruzzo armato con incastri alle estremità.

3.11 § 5.1.3.12. AZIONI SISMICHE: E

La trattazione sismica esula dagli obiettivi del presente progetto.

3.12 § 5.1.3.12. AZIONI ECCEZIONALI: A

L'effetto della collisione viene considerato nella presente trattazione solo a livello locale con riferimento al dimensionamento del cordolo e alle verifiche locali sulla soletta.

4 RELAZIONE DI CALCOLO – STATO DI FATTO

4.1 CASI DI CARICO E COMBINAZIONI AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Si riportano di seguito i casi di carico e le combinazioni di carico degli stessi prodotte secondo le disposizioni di cui al §5.1.3.14 del D.M. 17/01/2018 ed applicando i coefficienti parziali di sicurezza della Tab. 5.1.V ed i coefficienti ψ per le azioni variabili per i ponti stradali della Tab. 5.1.IV del medesimo paragrafo.

CDC	Tipo CDC	Sigla Id	Note
1	Ggk	Peso proprio della struttura	
2	Gk	Tappeto e barriere	
3	Qk	Spinta delle terre a riposo/traffico su rilevato	
4	Qk	Caso 1a - Corsia 1 Impronta su spalla	
5	Qk	Caso 1b - Corsia 1 Impronta in mezzzeria	
6	Qk	Caso 1c - Impronte su spalla	
7	Qk	Caso 1d - Impronte in mezzzeria	
8	Qk	Caso 1e - Impronta 1 su spalla 2 in mezzzeria	
9	Qk	Caso 1f - Impronta 1 in mezzzeria 2 su spalla	
10	Qk	Frenamento	
11	Qvk	Vento	
12	Qtk	Variazione termica dT= 50.00	variazione termica:50.00
13	Qk	Caso 2a - Corsia 1 Impronta su spalla	
14	Qk	Caso 2b - Corsia 1 Impronta in mezzzeria	
15	Qk	Caso 2c - Impronta in mezzzeria	

	PESO PRORIO	TAPPETO E BARRIERE	SPINTA DELLE TERRE CON TRAFFICO A RIPOSO	CASO 1A - CORSIA 1 IMPRONTA SU SPALLA	CASO 1B - CORSIA 1 IMPRONTA IN MEZZZERIA	CASO 1C - IMPRONTE SU SPALLA	CASO 1D - IMPRONTE IN MEZZZERIA	CASO 1E - IMPRONTE 1 SU SPALLA E 2 IN	CASO 1F - IMPRONTE 1 IN MEZZZERIA E 2 SU	FRENAMENTO	VENTO	VARIAZIONE TERMICA	CASO 2A - IMPRONTE SU SPALLA	CASO 2B - IMPRONTE IN MEZZZERIA LATERALE	CASO 2C - IMPRONTE IN MEZZZERIA CENTRALE
Comb_SLU1	1.35	1.5	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU2	1.35	1.5	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU3	1.35	1.5	1.35	0	0	1.35	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU4	1.35	1.5	1.35	0	0	0	1.35	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU5	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	1.35	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU6	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	1.35	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU7	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	1.35	0	0
Comb_SLU8	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	1.35	0
Comb_SLU9	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	1.35
Comb_SLU10	1.35	1.5	1.35	1.05	0	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU11	1.35	1.5	1.35	0	1.05	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0

Comb_SLU12	1.35	1.5	1.35	0	0	1.05	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU13	1.35	1.5	1.35	0	0	0	1.05	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU14	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	1.05	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU15	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	1.05	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU16	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	1.05	0	0
Comb_SLU17	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	1.05	0
Comb_SLU18	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	1.05

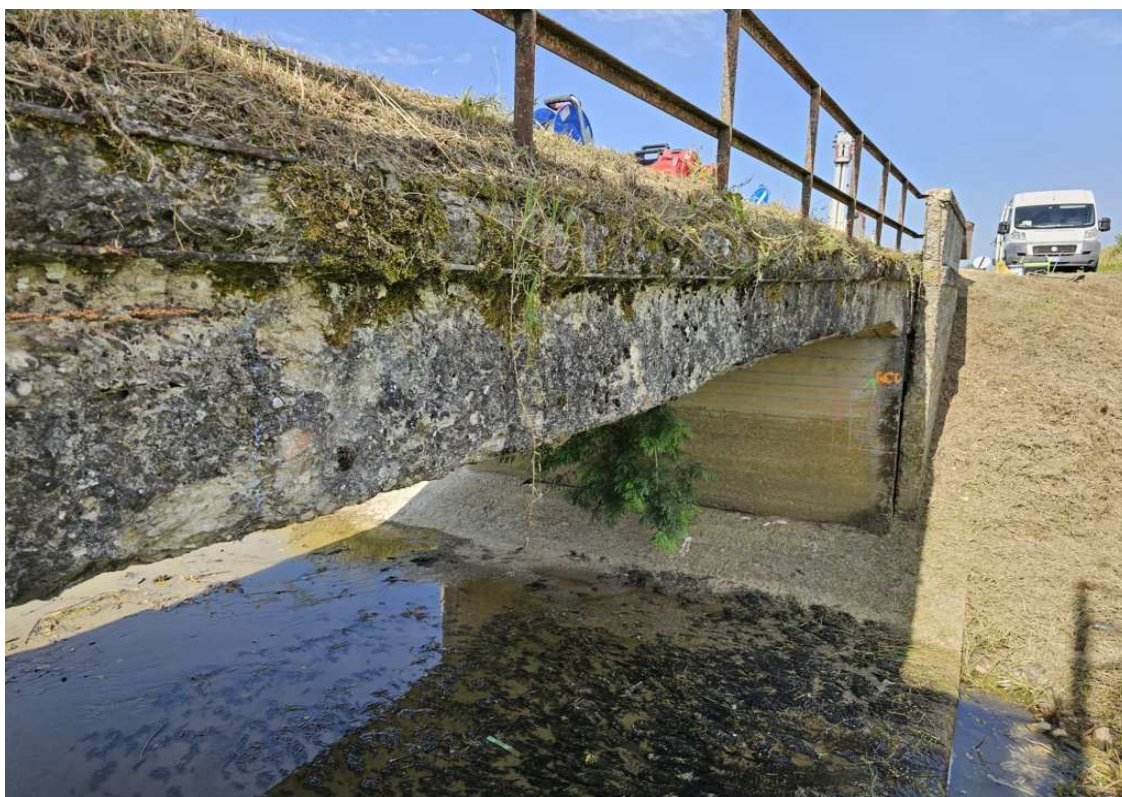
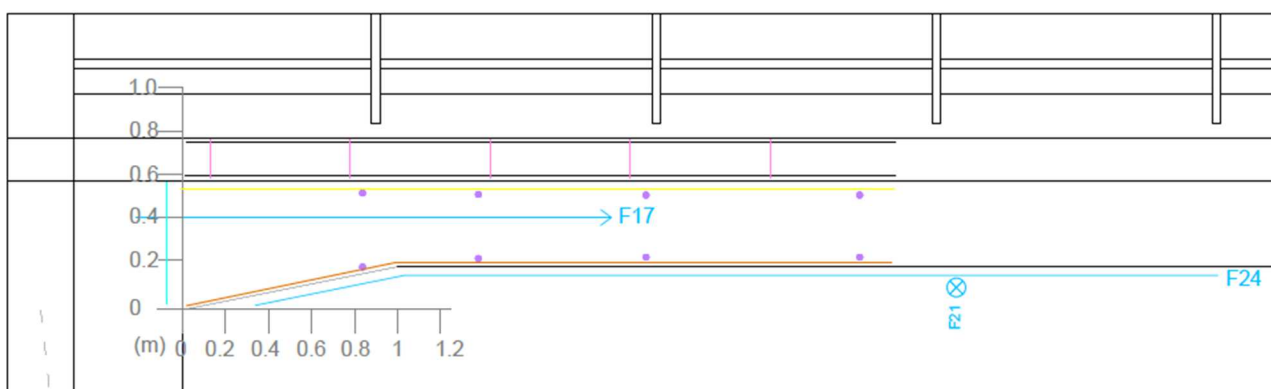
4.2 VERIFICA DELLA SOLETTA D'IMPALCATO

La soletta in calcestruzzo armato assolve la funzione di portare i carichi agenti sull'impalcato mediante un comportamento a trave inflessa incastrata agli estremi.

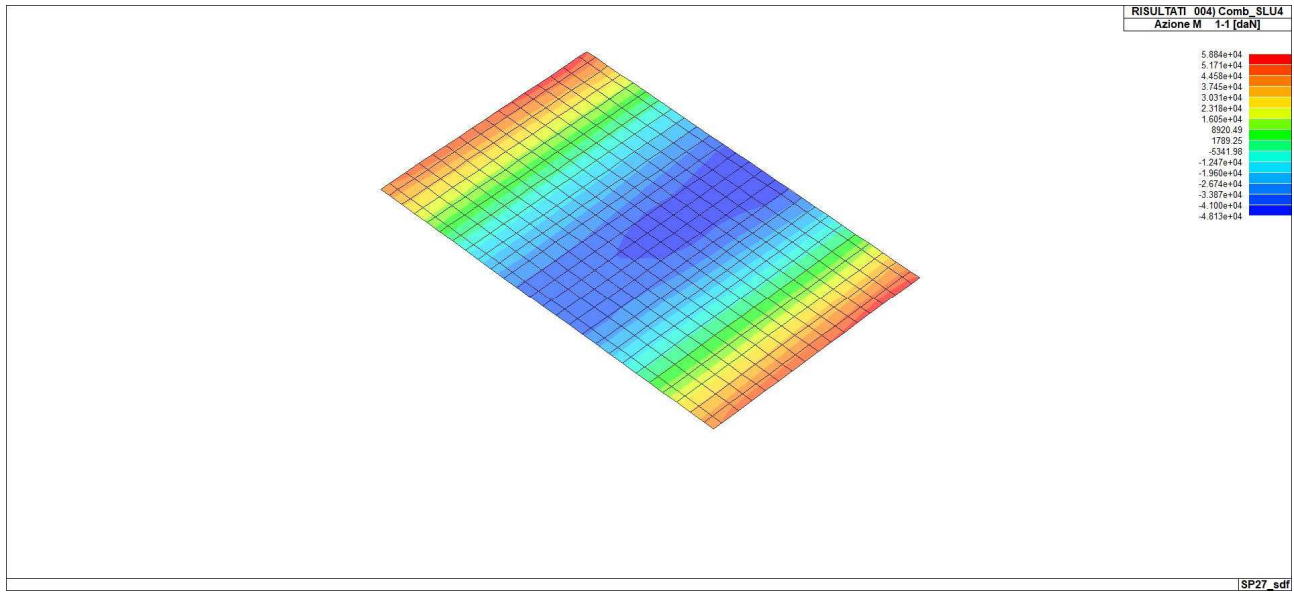
Spessore medio soletta: 40 cm

Armatura inferiore: barra liscia $\Phi 17$ mm; passo 9-15 cm; copriferro 20 mm

Armatura superiore: barra liscia $\Phi 26$ mm; passo 8-15 cm; copriferro 20 mm



4.3 VERIFICA A FLESSIONE IN MEZZERIA (SLU)



$$B = 629 \text{ cm}$$

$$s = 40 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,+} = 4,813 \cdot 10^4 \cdot B = 3.028 \text{ kNm}$$

Determinazione del momento resistente su sezione intermedia con spessore di 40 cm e armatura in intradosso $\Phi 17/12$ (totale n. 52 barre per armatura di $118,03 \text{ cm}^2$) con copriferro superiore di 2 cm e in estradosso $\Phi 26/12$ (totale n. 52 barre per armatura di $276,08 \text{ cm}^2$) con copriferro superiore di 2 cm

$$M_{Rd,+} = 1.531 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,+}/M_{Rd,+} = 1,98 > 1,00 \text{ (N.V.)}$$

Titolo: Soletta stato di fatto - Momento positivo

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	629	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	276,08	2
2	118,03	38

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

Materiali
 Semiduro CA-es
 E_{su} 67,5 % E_{c2} 2 %
 f_{yd} 356,5 N/mm² E_{cu} 3,5
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 13,47
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 E_{syd} 1,783 % σ_{c,adm} 9,41
 σ_{s,adm} 273 N/mm² τ_{co} 0,5819
 τ_{c1} 1,79

M xRd 1,531 kN m
 σ_c -13,47 N/mm²
 σ_s 356,5 N/mm²
 ε_c 3,5 %
 ε_s 54,01 %
 d 38 cm
 x 2,313 x/d 0,06086
 δ 0,7

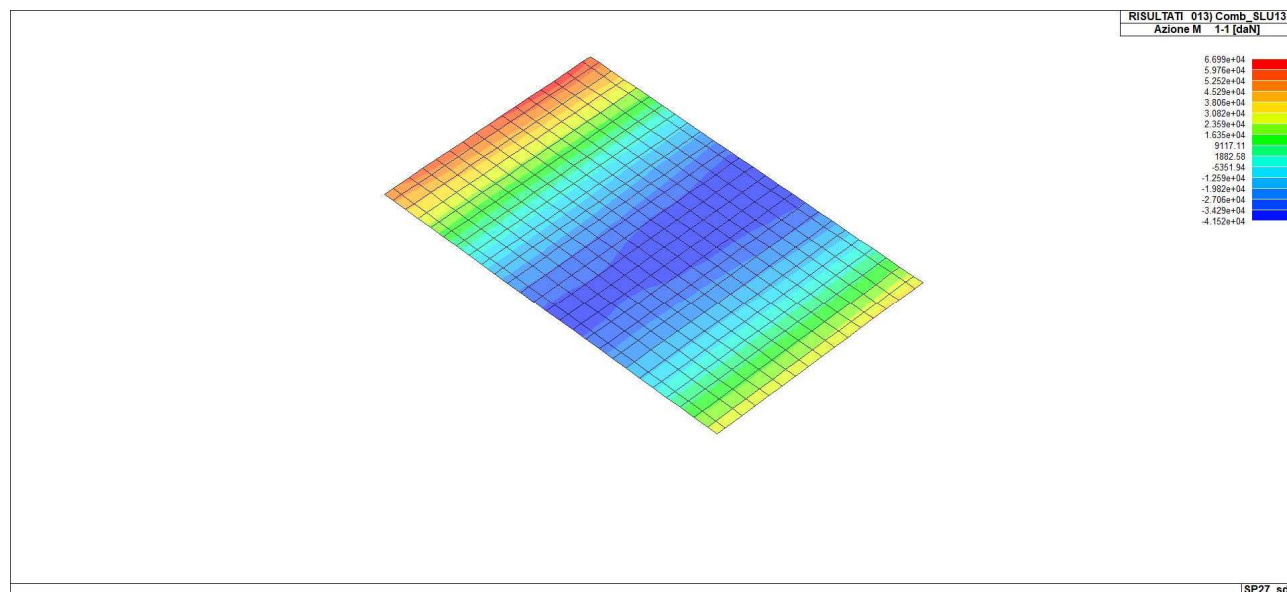
Tipo Sezione
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.
☐ DXF

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Devia

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

4.4 VERIFICA A FLESSIONE ALL'INCASTRO (SLU)



$B = 629 \text{ cm}$

$s = 60 \text{ cm}$

$M_{Ed,-} = 6,699 \cdot 10^4 \cdot B = 4.213 \text{ kNm}$

Determinazione del momento resistente su sezione all'incastro con spessore di 60 cm e armatura in intradosso $\Phi 17/12$ (totale n. 52 barre per armatura di $118,03 \text{ cm}^2$) con copriferro superiore di 2 cm e in estradosso $\Phi 26/12$ (totale n. 52 barre per armatura di $276,08 \text{ cm}^2$) con copriferro superiore di 2 cm

$M_{Rd,-} = 5.432 \text{ kNm}$

$M_{Ed,-}/M_{Rd,-} = 0,78 < 1,00 \text{ (Ok)}$

Titolo: Soletta stato di fatto - Momento negativo

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	629	60	1	276,08	2
			2	118,03	58

Sollecitazioni
S.L.U. **Metodo n**

N E_d 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

Materiali
Semiduro **CA-es**
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 356,5 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 13,47 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,783 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,41
 $\sigma_{s,adm}$ 273 N/mm² τ_{co} 0,5819
 τ_{c1} 1,79

M xRd -5,432 kN m
 σ_c -13,47 N/mm²
 σ_s 356,5 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 21,23 ‰
 d 58 cm
 x 8,208 x/d 0,1415
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**
 L_0 0 cm **Col. modello**
M-curvatura
☐ Precompresso

4.5 VERIFICA DELLA SPALLA

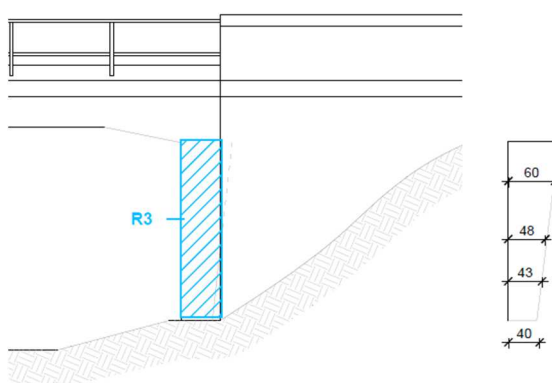
Le spalle in calcestruzzo armato assolvono la funzione di portare i carichi agenti dall'impalcato alla fondazione, la quale poi a sua volta li dissiperà direttamente al suolo.

Di seguito la verifica della spalla nel suo stato di fatto:

Spessore della spalla: sezione trapezoidale base 40 cm, testa 60 cm, altezza 348 cm

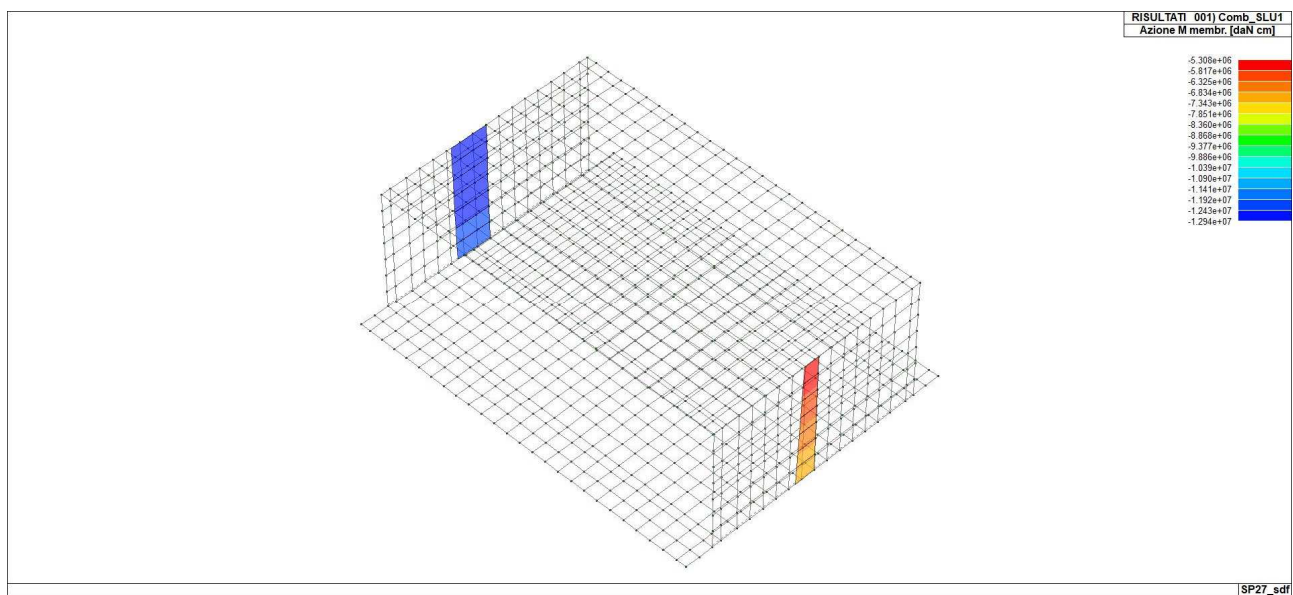
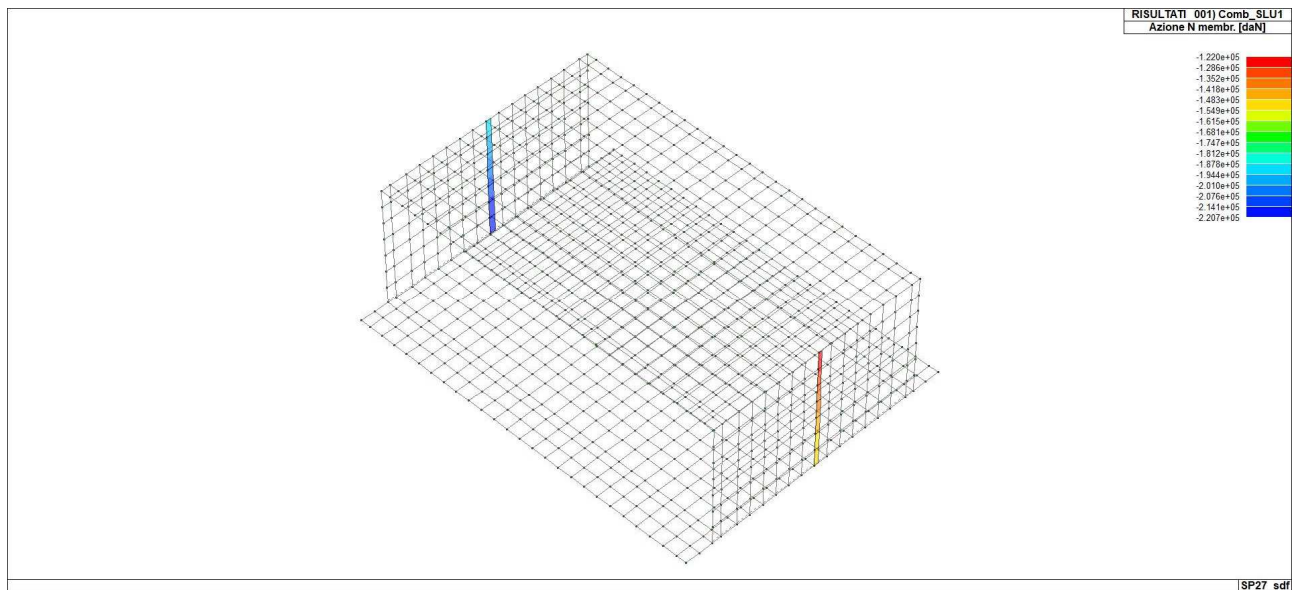
Armatura verticale: barra liscia $\Phi 10$ mm; passo 16-17 cm; copriferro 30 mm

Armatura orizzontale: barra liscia $\Phi 6$ mm; passo 15-25 cm; copriferro 20 mm





4.5.1 VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALLA CERNIERA DI BASE (SLU)



$$B = 629 \text{ cm}$$

$$s = 40 \text{ cm}$$

$$N_{Ed} = 2207 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,orto} (M_x) = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,memb} (M_y) = -1294 \text{ kNm}$$

Titolo: Spalla - Sezione alla cerniera di base

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	629	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	29,85	3
2	29,85	37

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 2207 kN
M_{xEd} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 -1294

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

Materiali
Semiduro CA-es

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 356,5 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,55 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,783 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,985 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 273 N/mm² τ_{co} 0,6125 N/mm²
 τ_{c1} 1,855 N/mm²

σ_c -1,338 N/mm²
 ϵ_s -0,06353 ‰

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

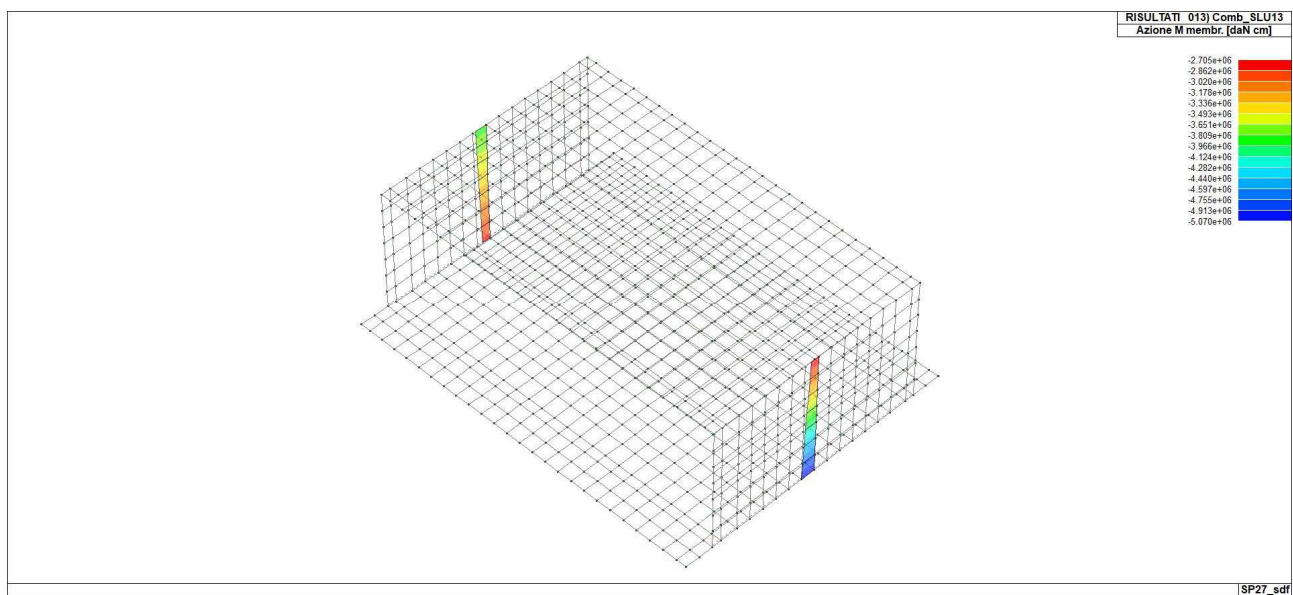
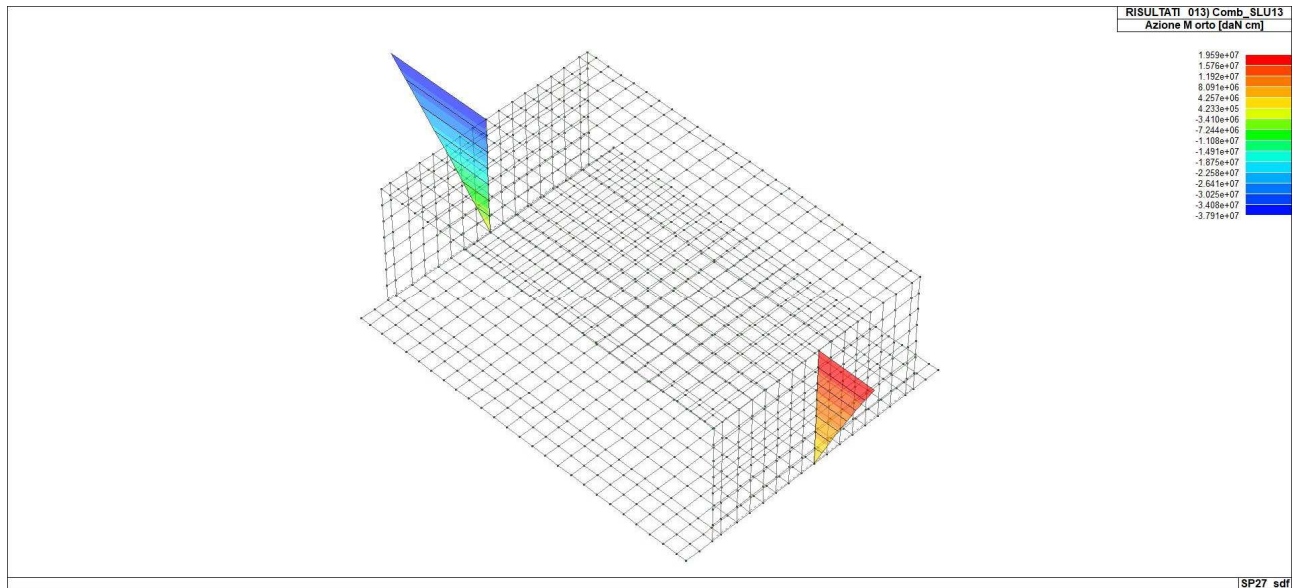
Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

Verifica
N° iterazioni: 0

☐ Precompresso

La verifica risulta **soddisfatta** con la sezione che è interamente compressa e la tensione nel calcestruzzo risulta inferiore a quella ammissibile.

4.5.2 VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALL'INCASTRO CON LA SOLETTA (SLU)



$B = 629 \text{ cm}$

$s = 60 \text{ cm}$

$N_{Ed} = 1852 \text{ kN}$

$M_{Ed,orto} (M_x) = -3791 \text{ kNm}$

$M_{Ed,memb} (M_y) = -397 \text{ kNm}$

Titolo: Spalla - Sezione all'incastro con la soletta

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	629	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	29,85	3
2	29,85	57

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N Ed 0 1852 kN
 M xEd 0 -3791 kNm
 M yEd 0 -397

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

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

Materiali
 Semiduro CA-es
 ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 356,5 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,55
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 ε_{syd} 1,783 ‰ σ_{c,adm} 9,985
 σ_{s,adm} 273 N/mm² τ_{co} 0,6125
 τ_{c1} 1,855

σ_c -26,12 N/mm²
 σ_s 2,041 N/mm²
 ε_s 10,21 ‰
 d 57,24 cm
 x 9,215 x/d 0,161
 δ 0,7

Verifica
 N° iterazioni: 5
☐ Precompresso

La verifica risulta **non soddisfatta** in quanto la sezione è parzializzata e le tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio risultano superiori a quelle ammissibili.

4.6 CONSIDERAZIONI SULLE VERIFICHE DELLO STATO DI FATTO

Come si evince dalle verifiche riportate ai paragrafi precedenti la struttura nel suo complesso non risulta adeguata staticamente alla vigente norma tecnica sulle costruzioni D.M. 17/01/2018.

Più in dettaglio si rilevano criticità nella soletta di impalcato in mezzeria per carenza di armatura resistente a flessione e sulla spalla in corrispondenza dell'incastro con la soletta dove la sezione è parzializzata e le verifiche lato calcestruzzo e lato acciaio risultano non soddisfatte.

Ulteriori verifiche (taglio sulla soletta, taglio sulla spalla, punzonamento sulla soletta, etc...) sono state omesse in quanto la struttura risulta non adeguata staticamente già con le già menzionate verifiche.

5 RELAZIONE DI CALCOLO – ADEGUAMENTO STATICO

5.1 CASI DI CARICO E COMBINAZIONI AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Si riportano di seguito i casi di carico e le combinazioni di carico degli stessi prodotte secondo le disposizioni di cui al §5.1.3.14 del D.M. 17/01/2018 ed applicando i coefficienti parziali di sicurezza della Tab. 5.1.V ed i coefficienti ψ per le azioni variabili per i ponti stradali della Tab. 5.1.IV del medesimo paragrafo.

CDC	Tipo CDC	Sigla Id	Note
1	Ggk	Peso proprio della struttura	
2	Gk	Tappeto e barriere	
3	Qk	Spinta delle terre a riposo/traffico su rilevato	
4	Qk	Caso 1a - Corsia 1 Impronta su spalla	
5	Qk	Caso 1b - Corsia 1 Impronta in mezzzeria	
6	Qk	Caso 1c - Impronte su spalla	
7	Qk	Caso 1d - Impronte in mezzzeria	
8	Qk	Caso 1e - Impronta 1 su spalla 2 in mezzzeria	
9	Qk	Caso 1f - Impronta 1 in mezzzeria 2 su spalla	
10	Qk	Frenamento	
11	Qvk	Vento	
12	Qtk	Variazione termica $dT = 50.00$	variazione termica:50.00
13	Qk	Caso 2a - Corsia 1 Impronta su spalla	
14	Qk	Caso 2b - Corsia 1 Impronta in mezzzeria	
15	Qk	Caso 2c - Impronta in mezzzeria	

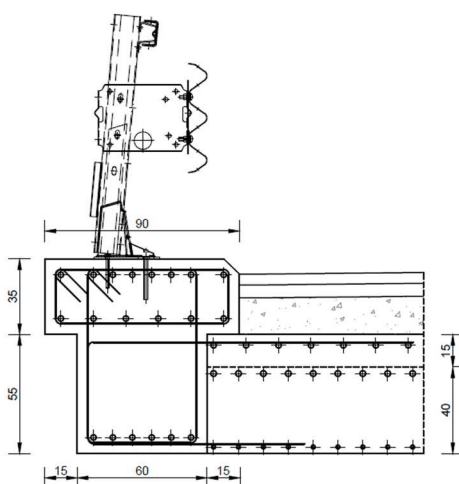
	PESO PRORIO	TAPPETO E BARRIERE	SPINTA DELLE TERRE CON TRAFFICO A RIPOSO	CASO 1A - CORSIA 1 IMPRONTA SU SPALLA	CASO 1B - CORSIA 1 IMPRONTA IN MEZZERIA	CASO 1C - IMPRONTA SU SPALLA	CASO 1D - IMPRONTA IN MEZZERIA	CASO 1E - IMPRONTA 1 SU SPALLA E 2 IN	CASO 1F - IMPRONTA 1 IN MEZZERIA E 2 SU	FRENAMENTO	VENTO	VARIAZIONE TERMICA	CASO 2A - IMPRONTA SU SPALLA	CASO 2B - IMPRONTA IN MEZZERIA LATERALE	CASO 2C - IMPRONTA IN MEZZERIA CENTRALE
Comb_SLU1	1.35	1.5	1.35	1.35	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU2	1.35	1.5	1.35	0	1.35	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU3	1.35	1.5	1.35	0	0	1.35	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU4	1.35	1.5	1.35	0	0	0	1.35	0	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU5	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	1.35	0	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU6	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	1.35	0	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU7	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	1.35	0	0
Comb_SLU8	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	1.35	0
Comb_SLU9	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0	0	1.35
Comb_SLU10	1.35	1.5	1.35	1.05	0	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU11	1.35	1.5	1.35	0	1.05	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0

Comb_SLU12	1.35	1.5	1.35	0	0	1.05	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU13	1.35	1.5	1.35	0	0	0	1.05	0	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU14	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	1.05	0	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU15	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	1.05	1.35	0.9	0.9	0	0	0
Comb_SLU16	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	1.05	0	0
Comb_SLU17	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0.9	0.9	0	1.05	0
Comb_SLU18	1.35	1.5	1.35	0	0	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	1.05

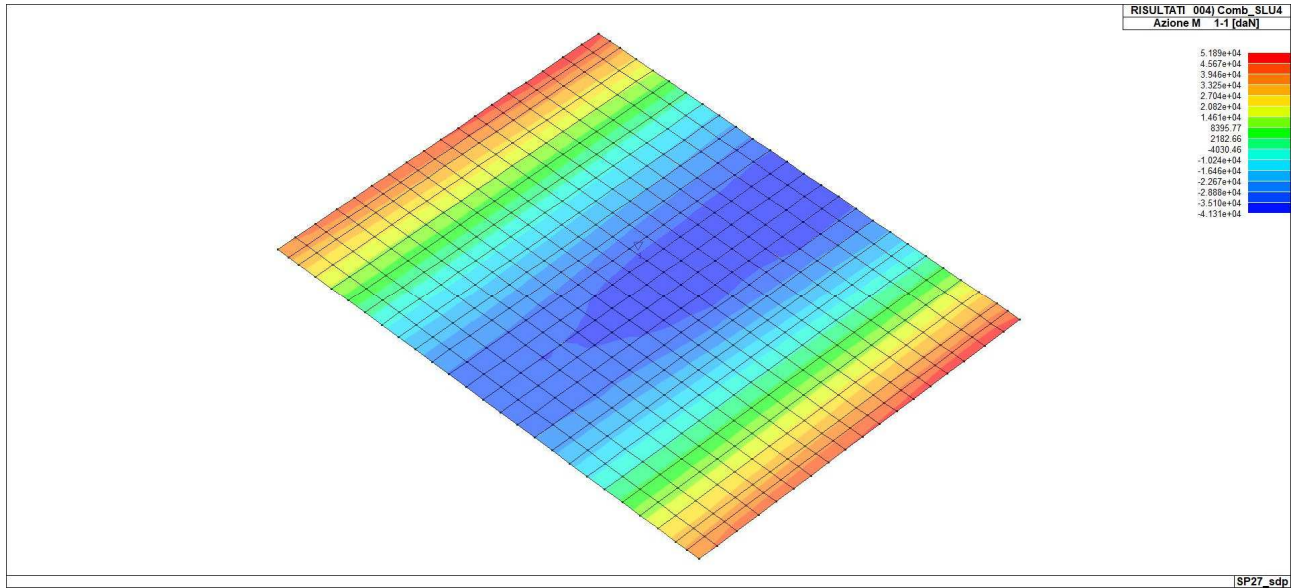
5.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA SOLETTA D'IMPALCATO ADEGUATA

Ai fini dell'adeguamento della soletta di impalcato si è optato per l'incremento dello spessore della stessa portandola dai 40 cm attuali ai 55 cm totali realizzando un ispessimento in estradosso con l'inserimento di barre da 24 mm di diametro a passo di 15 cm collegate alla soletta esistente con inghisaggi da 12 mm di diametro in ragione di n. 5 inghisaggi/m² e getto di completamento in calcestruzzo C35/45 XC4 S5 previo completa scarica e idrolavaggio in alta pressione al fine di garantire la monoliticità della soletta stessa.

Lateralmente l'ispessimento sarà ancorato solidamente alla nuova trave porta barriera in progetto. I carichi permanenti non strutturali sono stati pertanto ridotti nel termine di g_{2,1} (Pavimentazione stradale), dove lo spessore medio di 0,45 m è stato ridotto a 0,30 m che con un peso specifico del sottofondo stradale rullato e compattato di circa 22,0 kN/m³ si ha che il carico distribuito uniforme della pavimentazione stradale è pari a 6,9 kN/m².



5.2.2 VERIFICA A FLESSIONE IN MEZZERIA (SLU)



$$B = 749 \text{ cm}$$

$$s = 55 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,+} = 4,131 \cdot 10^4 \cdot B = 3.094 \text{ kNm}$$

Determinazione del momento resistente su sezione intermedia con spessore di 55 cm e armatura in intradosso $\Phi 17/12$ (totale n. 52 barre per armatura di $118,03 \text{ cm}^2$) con copriferro superiore di 2 cm, interne $\Phi 26/12$ (totale n. 52 barre per armatura di $276,08 \text{ cm}^2$) e in estradosso $\Phi 24/15$ (totale n. 50 barre per armatura di $226,19 \text{ cm}^2$) con copriferro superiore di 5 cm.

$$M_{Rd,+} = 3.156 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,+}/M_{Rd,+} = 0,98 < 1,00 \text{ (Ok)}$$

Titolo : Soletta stato di progetto - Momento positivo

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	749	55

N°	As [cm²]	d [cm]
1	118,03	52
2	276,08	16
3	226,19	5

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

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 - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

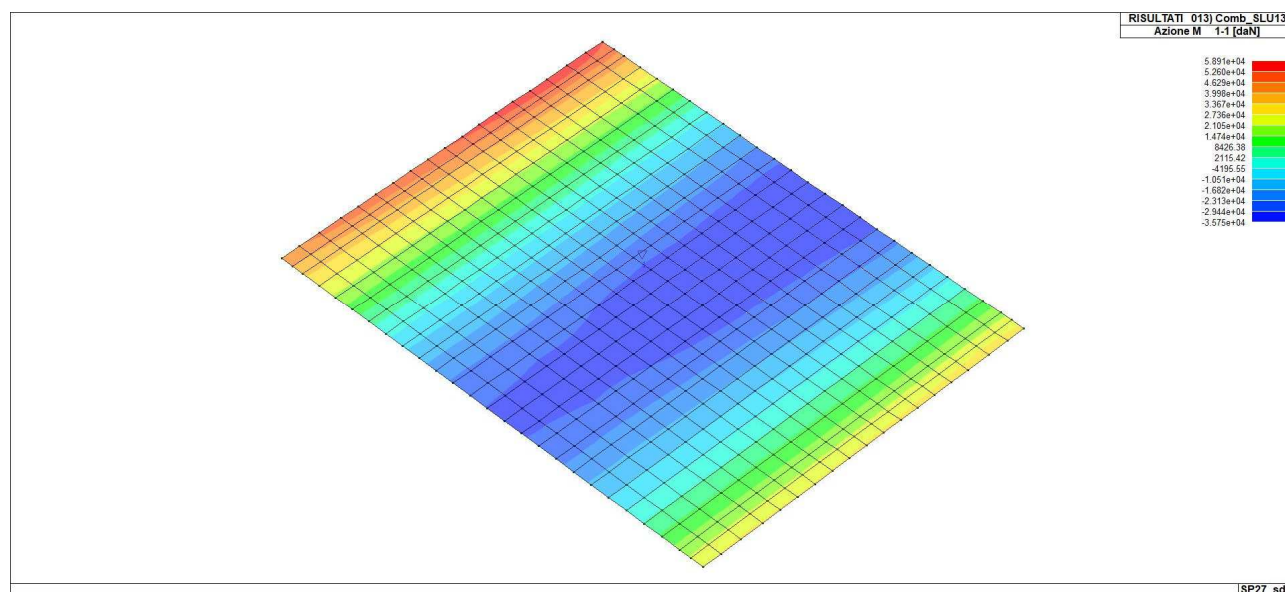
N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 M-curvatura
☐ Precompresso

Materiali
 Semiduro CA-es-sole
 ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 356,5 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 13,47
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,783 ‰ σ_{c,adm} 9,41
 σ_{s,adm} 160 N/mm² τ_{co} 0,5819
 τ_{c1} 1,79

M_{xRd} 3.156 kN m
 σ_c -13,47 N/mm²
 σ_s 356,5 N/mm²
 ε_c 3,5 ‰
 ε_s 17,16 ‰
 d 52 cm
 x 8,811 x/d 0,1694
 δ 0,7

Si precisa che le verifiche sono state eseguite utilizzando le caratteristiche dei materiali esistenti e pertanto il fattore di sicurezza determinato è cautelativo a quello effettivo.

5.2.3 VERIFICA A FLESSIONE ALL'INCASTRO (SLU)



$$B = 749 \text{ cm}$$

$$s = 60 \text{ cm}$$

$$M_{Ed,-} = 5,891 \cdot 10^4 \cdot B = 4.412 \text{ kNm}$$

Determinazione del momento resistente su sezione all'incastro con spessore di 55 cm (trascurato in favore di sicurezza l'incremento di spessore) e armatura in intradosso $\Phi 17/12$ (totale n. 52 barre per

armatura di 118,03 cm²) con copriferro superiore di 2 cm, interne $\Phi 26/12$ (totale n. 52 barre per armatura di 276,08 cm²) e in estradosso $\Phi 24/15$ (totale n. 50 barre per armatura di 226,19 cm²) con copriferro superiore di 5 cm.

$$M_{Rd,-} = 6.788 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,-}/M_{Rd,-} = 0,65 < 1,00 \text{ (Ok)}$$

Titolo: Soletta stato di progetto - Momento negativo

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	749	55

N°	As [cm²]	d [cm]
1	118,03	52
2	276,08	16
3	226,19	5

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

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

Materiali
Semiduro **CA-es-sole**
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 356,5 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 13,47 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,783 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,41
 $\sigma_{s,adm}$ 160 N/mm² τ_{co} 0,5819
 τ_{c1} 1,79

M M_{Rd} -6.788 kN m
 σ_c -13,47 N/mm²
 σ_s 356,5 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 6,936 ‰
 d 50 cm
 x 16,77 x/d 0,3354
 δ 0,8592

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

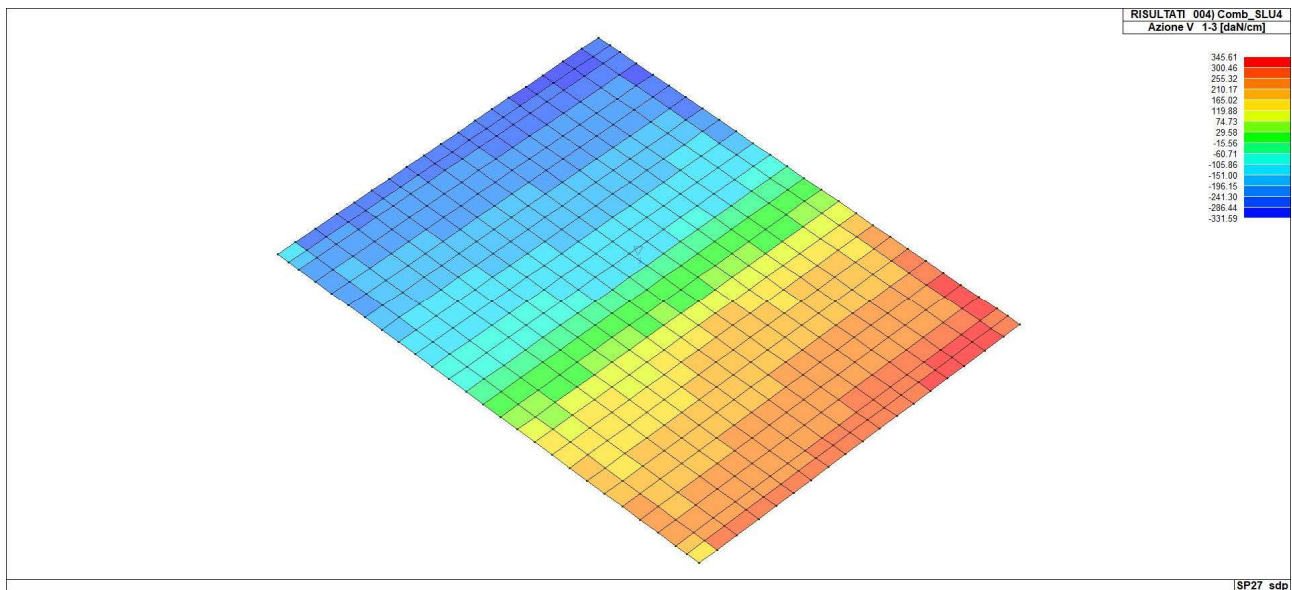
Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

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

Si precisa che le verifiche sono state eseguite utilizzando le caratteristiche dei materiali esistenti e pertanto il fattore di sicurezza determinato è cautelativo a quello effettivo.

5.2.4 VERIFICHE A TAGLIO

A. Verifica con le sollecitazioni derivanti dall'analisi globale secondo la combinazione carico n. 4, ovvero la combinazione con lo schema di carico 1 con i carichi tandem posizionati in mezzzeria. Si esegue la verifica della soletta di impalcato come elemento senza armature trasversali resistenti a taglio (§4.1.2.3.5.1 NTC 2018)



$$V_{Ed} = 331 \cdot B = 2479 \text{ kN}$$

Il calcolo di V_{Rd} viene effettuato nella sezione di incastro tra la soletta e la spalla dove la sezione stessa ha dimensioni di 749x70 cm e considerando in favore di sicurezza le caratteristiche dei materiali esistenti.

$$b_w = 749 \text{ cm}$$

$$s = 70 \text{ cm}$$

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	28,64	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	23,7712	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	31,7712	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,5	[MPa]

Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,7	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	3,2	[MPa]

Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	31120	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	13,47	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,16	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	14,26272	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	10,69704	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	410	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ε_{yd}	0,001783	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ε_{su}	0,01	[-]

Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	356,5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	328	[MPa]

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	700	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	7490	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	650	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	45	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	24	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	50	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	46511	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	17	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	45	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	10214	[mm ²]

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE

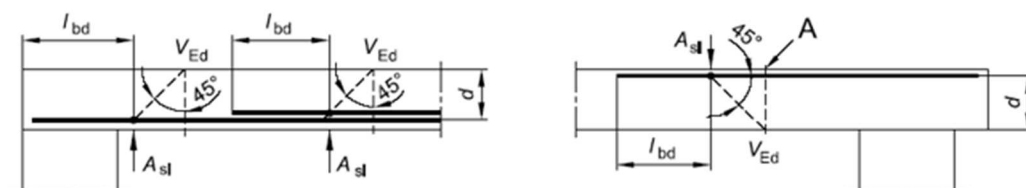
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	0	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		sì	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,55	[-]
		1,55	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1	0,0095535	[-]
		0,0095535	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata

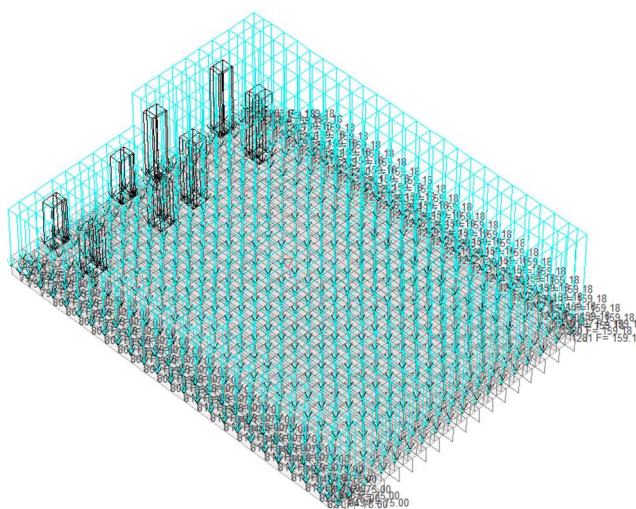


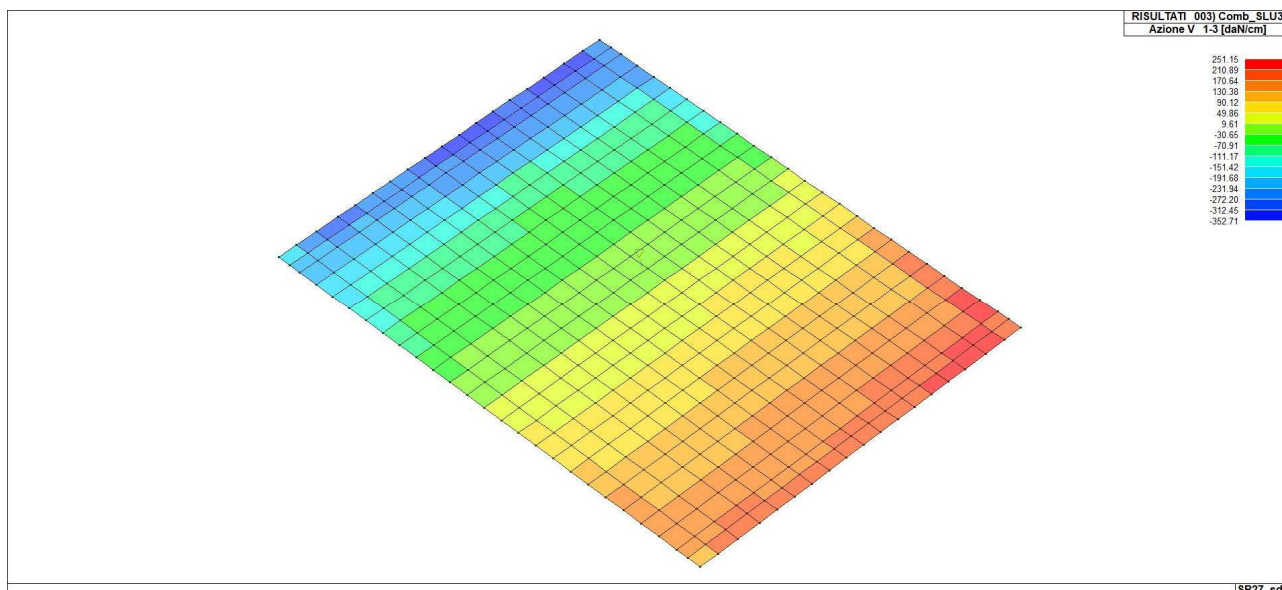
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	2572,14	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	1610,49	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	2572,14	[kN]

$$V_{Rd} = 2.572 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed}/V_{Rd} = 0,96 < 1,00 \text{ (Ok)}$$

B. Verifica con le sollecitazioni derivanti dall'analisi globale secondo la combinazione carico n. 3, ovvero la combinazione con lo schema di carico 1 con i carichi tandem posizionati all'incastro con la spalla. La presente risulta essere la sollecitazione maggiormente gravosa per l'impalcato.





Il calcolo di V_{Rd} viene effettuato nella sezione alla distanza $a_v = 40$ cm dall'incastro tra la soletta e la spalla dove la sezione stessa ha dimensioni di 749x60 cm e considerando in favore di sicurezza le caratteristiche dei materiali esistenti.

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	28,64 [MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	23,7712 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5 [-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85 [-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	31,7712 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,5 [MPa]

Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,7 [MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	3,2 [MPa]

Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	31120 [MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0,0020 [-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035 [-]

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	13,47 [MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,16 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	14,26272 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	10,69704 [MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	410 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15 [-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000 [MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0,001783 [-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0,01 [-]

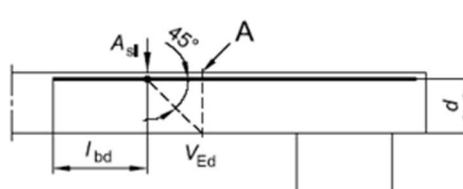
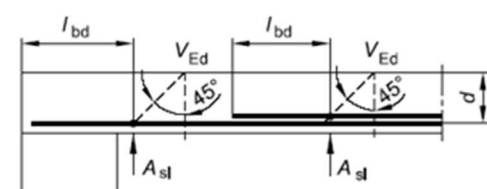
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	356,5 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	328 [MPa]

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	600	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	7490	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	550	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	26	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	45	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	24	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	50	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	46511	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	17	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	45	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	10214	[mm ²]
DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	0	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		sì	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,60	[-]
		1,60	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1	0,0112905	[-]
		0,0112905	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	2372,58	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	1426,75	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	2372,58	[kN]

$$V_{Rd} = 2.372 \text{ kNm}$$

$$R_A = 353 \cdot B = 2643 \text{ kN}$$

$$d = (60 - 3) = 57 \text{ cm}$$

$$a_v = 40 \text{ cm}$$

$$V_{Ed} = R_A \cdot (a_v / 2d) = 927 \text{ kN}$$

Taglio sollecitante SLU (§4.1.2.3.5.3 NTC 2018)

$$V_{Ed} / V_{Rd} = 0,35 < 1,00 \text{ kN (OK)}$$

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}$$

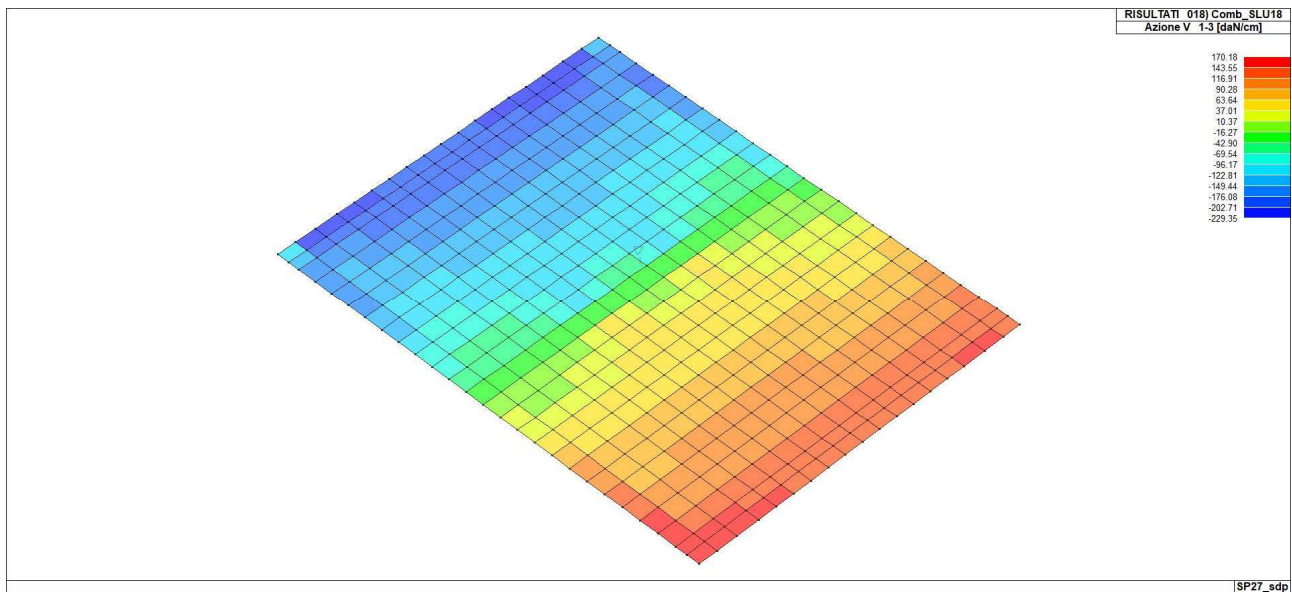
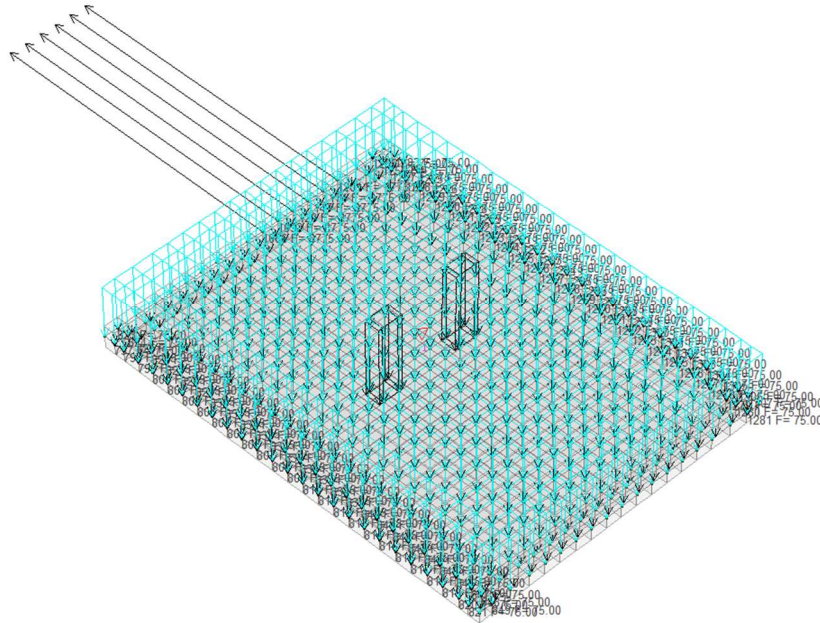
[4.1.33 NTC 2018] con V_{Ed} calcolato senza riduzione

$$v = 0,5$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 23,77 / 1,5 = 13,47 \text{ MPa}$$

$$R_A = 2643 \text{ kN} < 0,5 \cdot 7,49 \cdot 0,57 \cdot 0,5 \cdot 13,47 \cdot 10^6 = 14377 \text{ kN (Ok)}$$

C. Verifica con le sollecitazioni derivanti dall'analisi locale secondo il caso di carico 2c (CC 18), ovvero con lo schema di carico 2 con i carichi da impronta posizionati in mezzzeria.



$$b_w = 749 \text{ cm}$$

$$s = 70 \text{ cm}$$

$$V_{Rd} = 2.572 \text{ kNm} \quad (\text{rif. determinazione taglio resistenze p.to A})$$

$$V_{Ed} = 229 \cdot B = 1715 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}/V_{Rd} = 0,67 < 1,00 \text{ (Ok)}$$

5.2.5 VERIFICA A PUNZONAMENTO

PUNZONAMENTO

Verifica a punzonamento

F	20000 daN	
f_{ck}	28,9 N/mm ²	
$C_{Rdc} = 0,18/g_c$	0,12	Eurocodice 2 parte 1-1
g_c	1,5	
$k = 1+(200/d)^{1/2}$	1,62 < 2	
h	550 mm	Spessore soletta
d	520 mm	
r_{lx}	0,0014487	
r_{ly}	0,0025769	
r_{eff}	0,00193 < 0,02	
k_1	0,1	Eurocodice 2 Parte 1-1
$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$	0,388 N/mm ²	Resistenza minima
$V_{Rdc} = C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot r_l \cdot f_{ck})^{1/3}$	0,345 N/mm ²	Resistenza a punzonamento senza armatura a taglio
$T_{ed} = F \cdot \gamma_Q$	270000 N	
γ_Q	1,35	
a	250 mm	Spessore pavimentazione
b_1	350 mm	Larghezza impronta di carico
b_2	600 mm	Lunghezza impronta di carico
u_1	6100 mm	perimetro
b	1,00	carico concentrato
$V_{ed} = \beta \cdot T_{ed} / u_1 \cdot d$	0,085 N/mm ²	Tensione di progetto
V_{Rd}	0,388 N/mm ²	Resistenza a punzonamento
V_{ed}/V_{Rd}	0,219	Verificato

5.3 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE SPALLE ADEGUATE

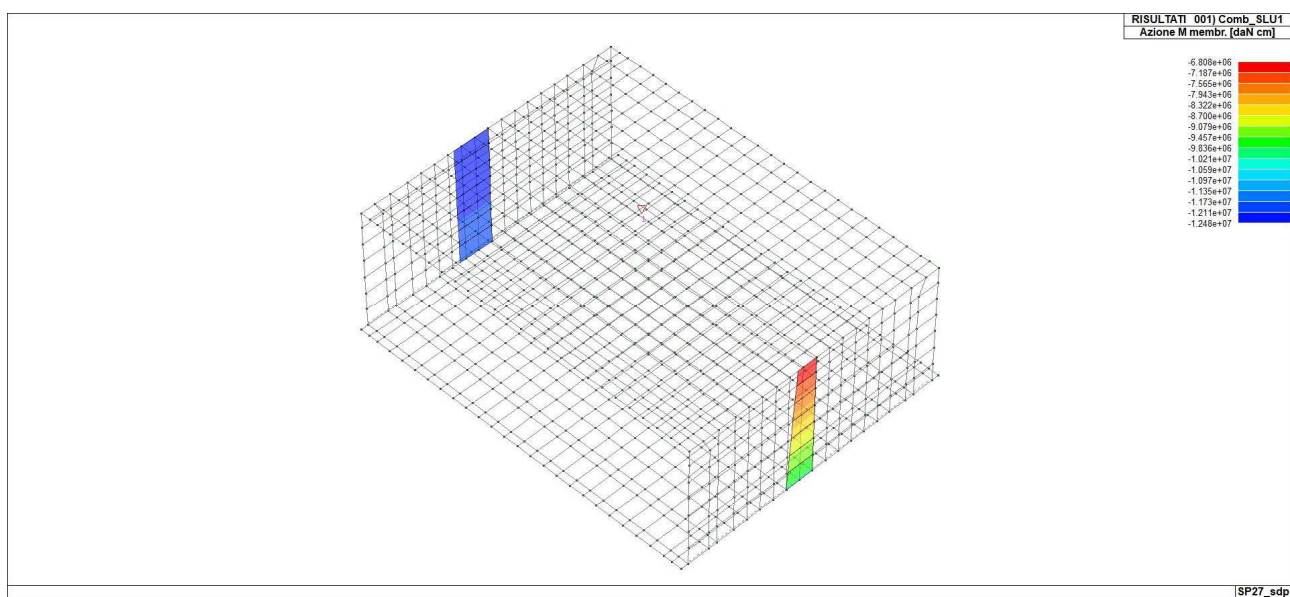
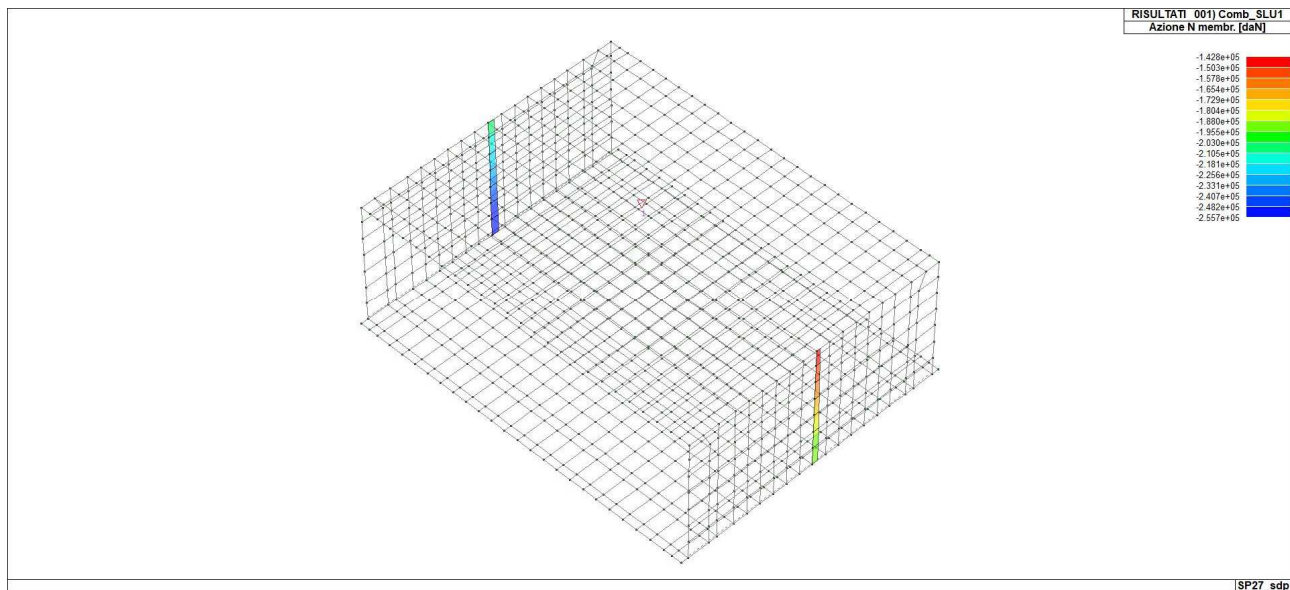
Considerando la tipologia strutturale, ovvero quella di una telaio con le spalle vincolate con una cerniera al piede e con un incastro nell'intersezione con la soletta e tenendo presente la sezione verticale trapezoidale della spalla stessa, l'intervento di adeguamento è stato progettato incrementando sul lato interno della spalla la sezione utile di 20 cm ottenendo così una ampiezza al piede di 60 cm ed in testa di 80 cm, con la larghezza globale che, grazie alla formazione delle due spallette laterali che andranno a sostenere la trave porta barriera, passa di 629 cm a 749 cm.

Nella cerniera di base l'armatura esistente, composta da barre lisce di acciaio semiduro da 10 mm di diametro a passo medio di 16,5 cm, sarà incrementata internamente con l'inserimento di barre di acciaio nervato da 24 mm a passo di 15 cm che si estenderanno per l'intero sviluppo longitudinale della spalla.

Nell'incastro di testa con la soletta l'armatura integrativa sarà posta a mezzo di perfori anche nella parte esterna della sezione per una profondità complessiva non inferiore a 100 cm in modo tale da generare una sezione 80x749 cm armata internamente e esternamente con barre di acciaio nervato B450 da 24 mm di diametro a passo di 15 cm e copriferro di 5 cm, rendendo di fatto trascurabile l'armatura esistente.

Sono state pertanto condotte verifiche di resistenza a pressoflessione deviata nella sezione di incernieramento al piede, di incastro in testa ed in mezzzeria in corrispondenza della parte terminale delle barre integrative da 24 mm, in modo tale da verificare l'adeguatezza dell'armatura esistente.

5.3.1 VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALLA CERNIERA DI BASE (SLU)



$$B = 749 \text{ cm}$$

$$s = 60 \text{ cm}$$

$$N_{Ed} = 2557 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,orto} (M_x) = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,memb} (M_y) = -1248 \text{ kNm}$$

Titolo: Spalla adeguata - Sezione di incernieramento al piede

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	749	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	35,34	3
2	226,19	55

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

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**
 N_{Ed}: 3.411 2557 kN
 M_{xEd}: -4.275 0 kNm
 M_{yEd}: -675 -1248

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

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

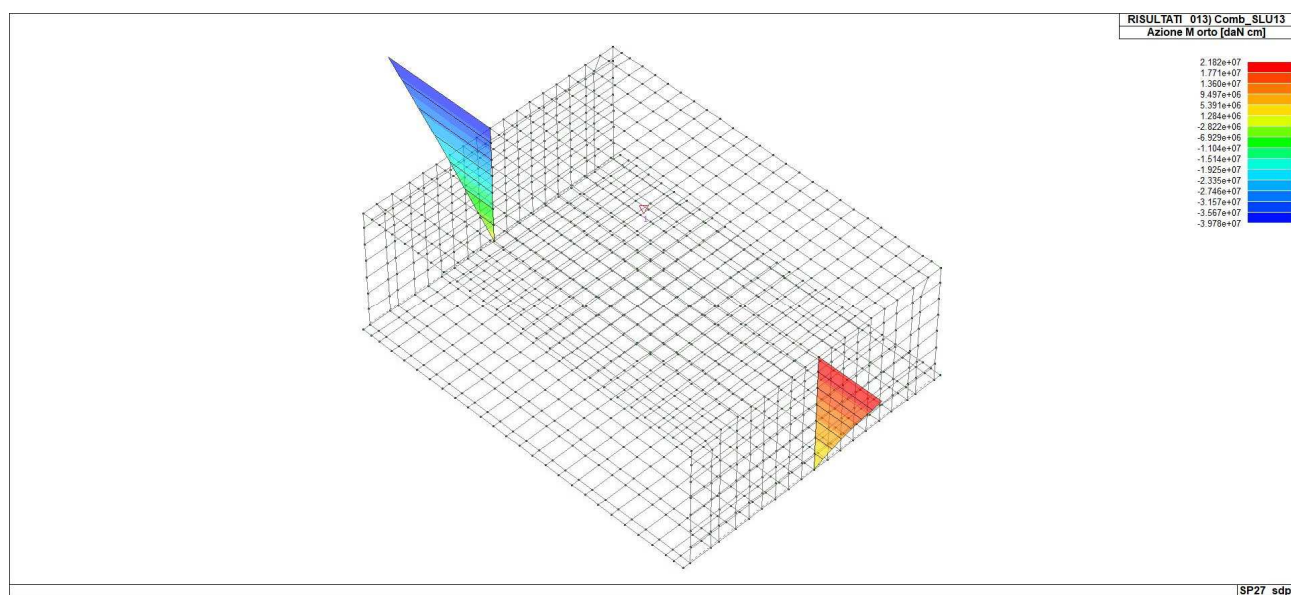
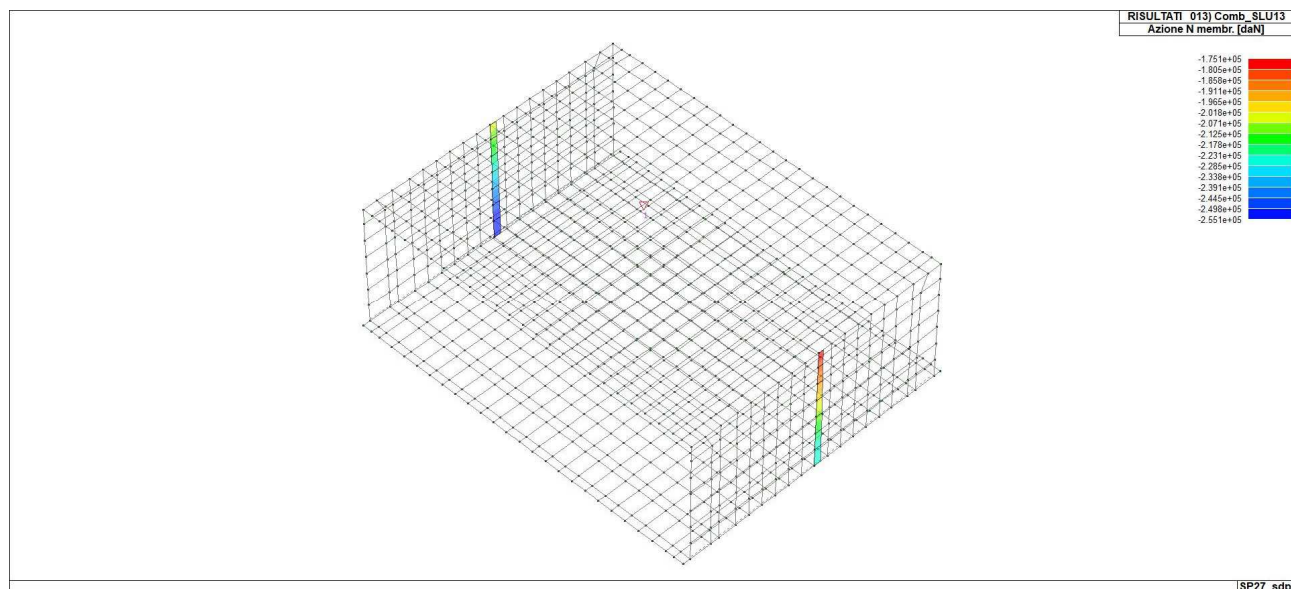
Materiali
B450C **CA-es**
 ϵ_{su} : 67,5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391,3 N/mm² ϵ_{cu} : 3,5 ‰
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 14,55
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0,8
 ϵ_{syd} : 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 9,985
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0,6125
 τ_{c1} : 1,855

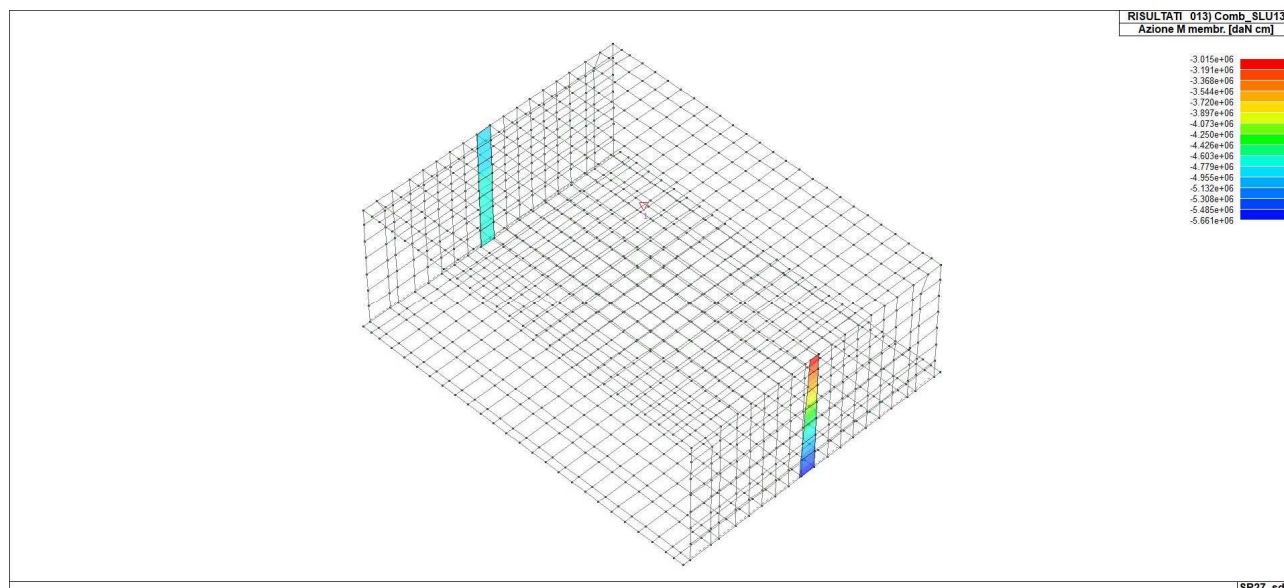
σ_c : -0,8188 N/mm²
 ϵ_s : -0,03514 ‰

Verifica
 N° iterazioni: 0
☐ Precompresso

La verifica risulta soddisfatta con la sezione che è interamente compressa e la tensione nel calcestruzzo risulta inferiore a quella ammissibile.

5.3.2 VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA ALL'INCASTRO DI TESTA (SLU)





$B = 749 \text{ cm}$

$s = 60 \text{ cm}$

$N_{Ed} = 2071 \text{ kN}$

$M_{Ed,orto} (M_x) = -3978 \text{ kNm}$

$M_{Ed,memb} (M_y) = -478 \text{ kNm}$

La sezione viene verificata nella porzione di incastro di testa nella configurazione adeguata, ovvero con spessore confinato di 80 cm e armature interne ed esterne da 24 mm di diametro a passo 15 cm con copriferro di 50 mm. Per i materiali si considerano operanti il calcestruzzo esistente e le armature di nuova posa.

Titolo : Spalla adeguata - Sezione di incastro in testa

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	749	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	226,19	5
2	226,19	75

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

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**
 N Ed 0 2071 kN
 M xEd 0 -3978 kNm
 M yEd 0 -478 kNm

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

Materiali
 B450C CA-es
 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} 14,55 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,985 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6125 N/mm²
 τ_{c1} 1,855 N/mm²

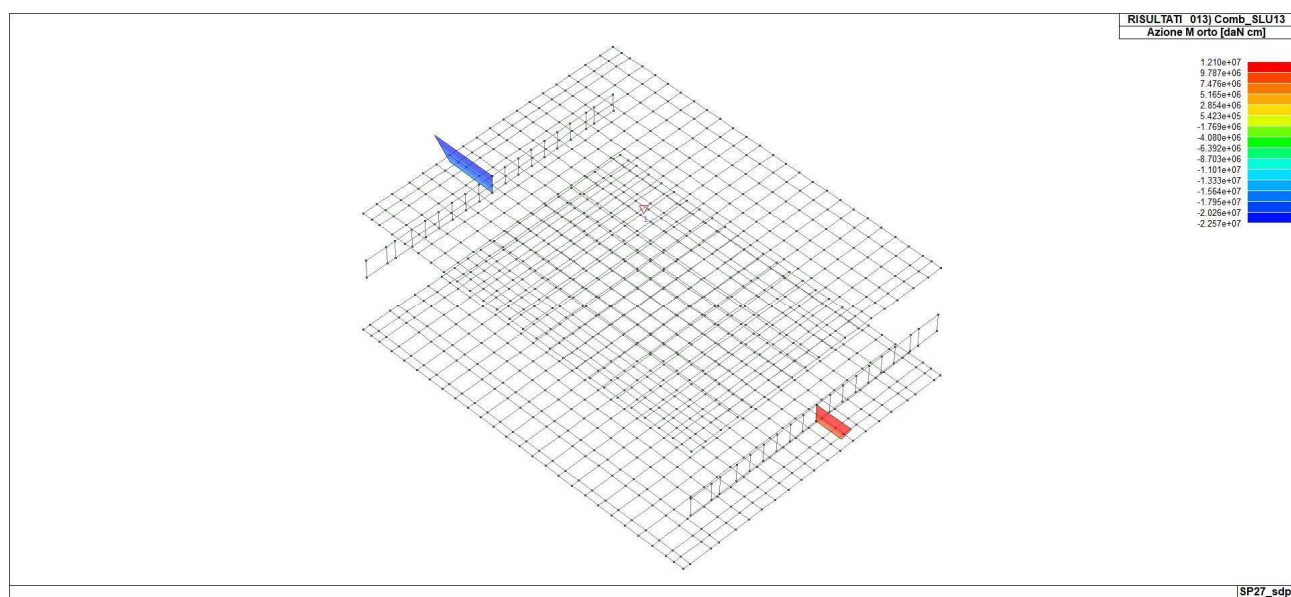
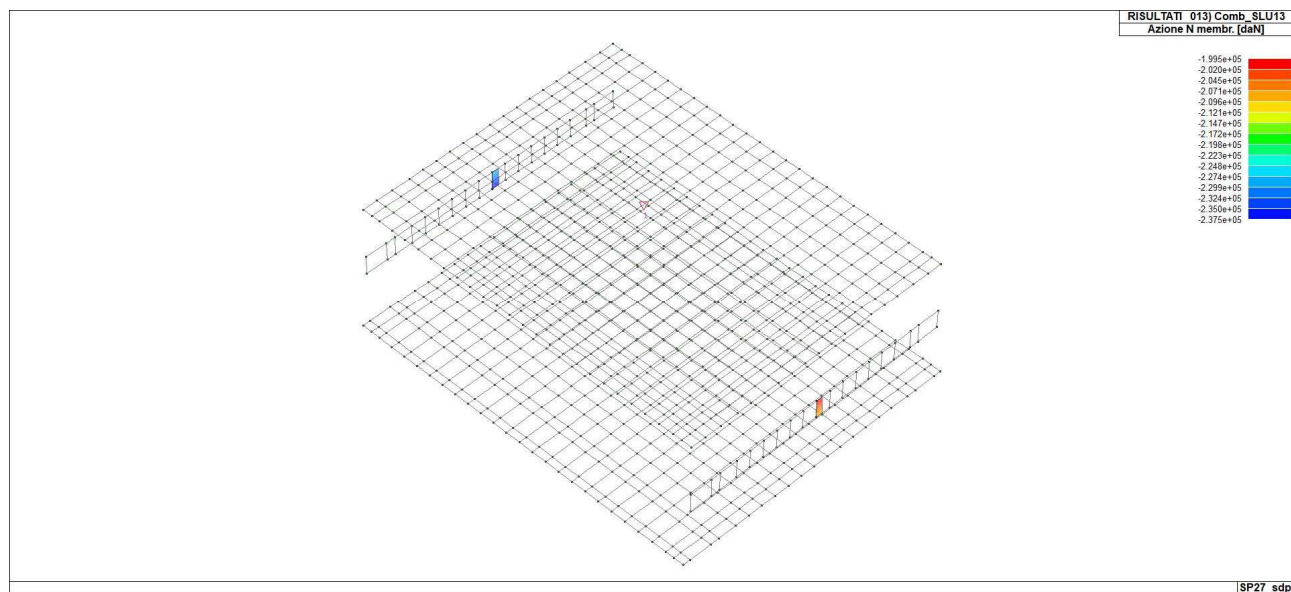
Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

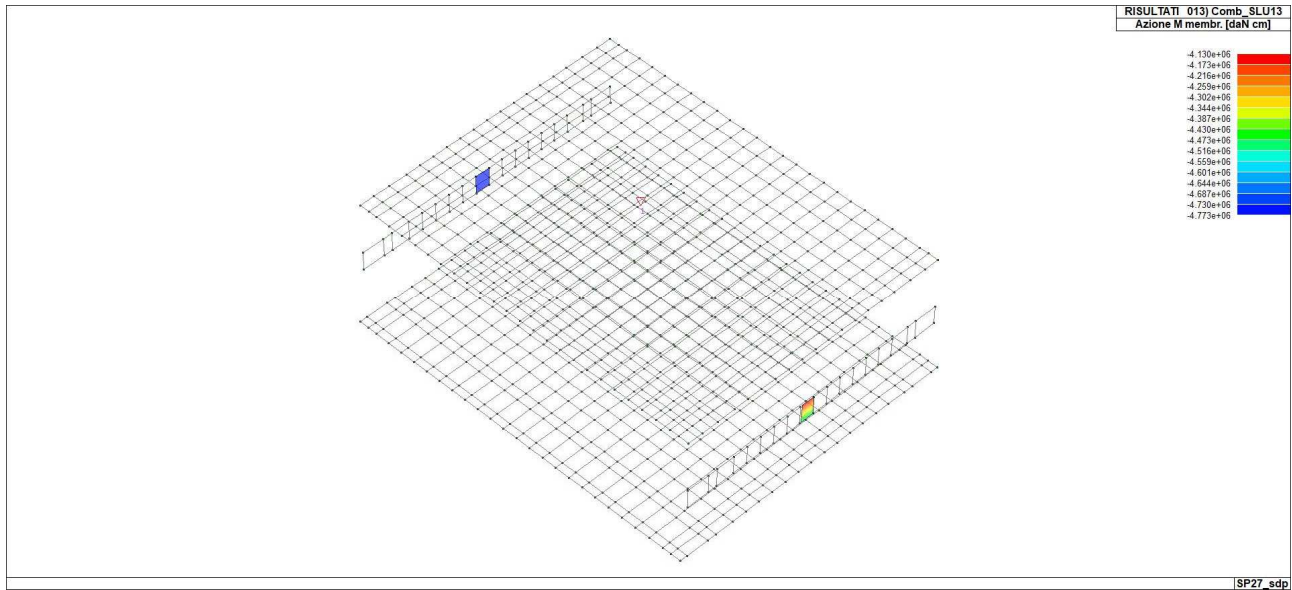
Verifica
 N° iterazioni: 4
☐ Precompresso

σ_c -6,422 N/mm²
 σ_s 214 N/mm²
 ϵ_s 1,07 ‰
 d 75,82 cm
 x 23,53 x/d 0,3104
 δ 0,828

La verifica risulta soddisfatta con la sezione che è parzializzata e le tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio risultano inferiori a quella ammissibili.

5.3.3 VERIFICA DELLA SEZIONE PIANA IN MEZZERIA (SLU)





$B = 749 \text{ cm}$

$s = 70 \text{ cm}$

$N_{Ed} = 2375 \text{ kN}$

$M_{Ed,orto} (M_x) = 2257 \text{ kNm}$

$M_{Ed,memb} (M_y) = 477 \text{ kNm}$

Considerando che l'inghisaggio dall'alto verso il basso delle armature integrative nell'intradosso della sezione della spalla può avvenire solamente per l'estensione di 100 cm, si effettua la verifica della sezione di mezzeria nel punto terminale degli inghisaggi dove in intradosso saranno operanti le barre esistenti da 10 mm a passo di medio di 165 mm (copriferro 20 mm) e in estradosso le barre integrative da 24 mm di diametro a passo di 150 mm (copriferro 50 mm) con la sezione che risulta pari a 749x70 cm. Vengono considerate anche le armature integrative posizionate nell'allargamento delle spalle laterali in barre da 28 mm e da 24 mm. I calcestruzzi sono stati posti con le caratteristiche meccaniche dei materiali esistenti mentre per gli acciai si è fatto riferimento a materiali nuovi.

Titolo: Spalla adeguata - Sezione di mezzzeria

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 9 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	-374,5	-35
2	374,5	-35
3	374,5	35
4	-374,5	35

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	49,26	-344	-30
2	49,26	344	-30
3	35,34	0	-33
4	18,10	-344	30
5	18,10	344	30
6	226,19	0	30
7	35,34	0	13
8	18,47	-370	0
9	18,47	370	0

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 2375 kN
 M_{xEd} 0 2257 kNm
 M_{yEd} 0 477

Materiali
 B450C CA-es-spal
 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} 14,55 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,985 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6125 N/mm²
 τ_{c1} 1,855

σ_c -5,284 N/mm²
 σ_s 195,3 N/mm²
 ϵ_s 0,9764 ‰
 d 68,68 cm
 x 19,83 x/d 0,2887
 δ 0,8009

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

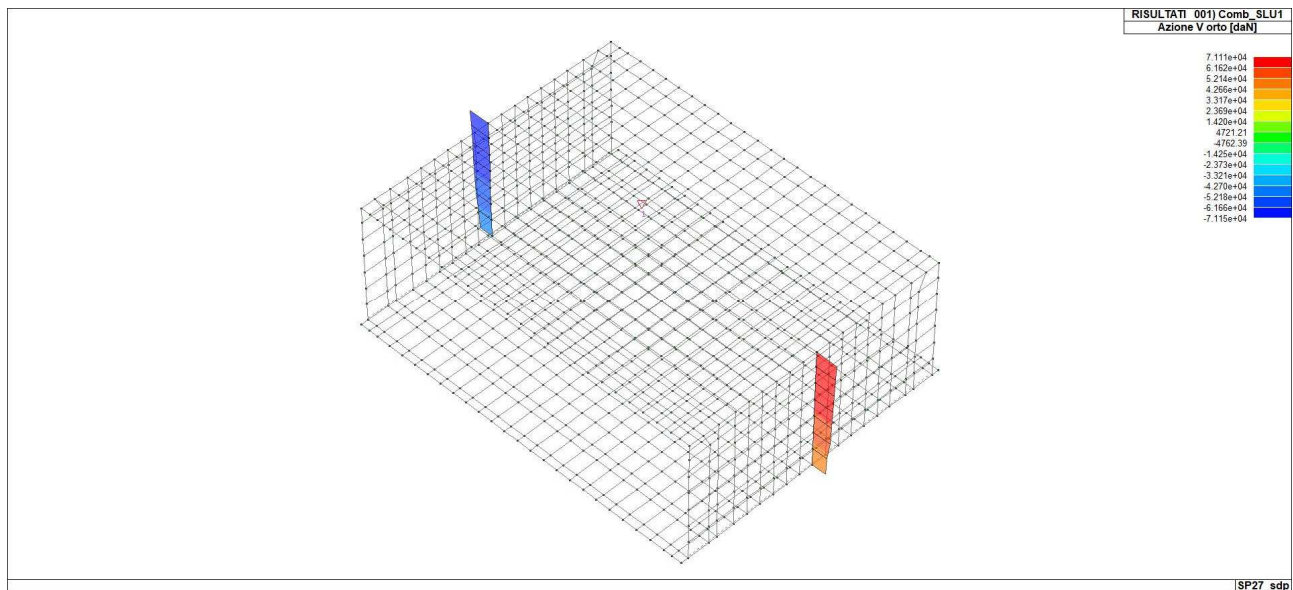
Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

Verifica
 N° iterazioni: 4
☐ Precompresso

La verifica risulta soddisfatta con la sezione che è parzializzata e le tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio risultano inferiori a quella ammissibili.

5.3.4 VERIFICA A TAGLIO (SLU)

Verifica con le sollecitazioni derivanti dall'analisi globale secondo la combinazione carico n. 4, ovvero la combinazione con lo schema di carico 1 con i carichi tandem posizionati in mezzzeria. Si esegue la verifica della soletta di impalcato come elemento senza armature trasversali resistenti a taglio (§4.1.2.3.5.1 NTC 2018)



$$V_{Ed} = 712 \text{ kN}$$

Il calcolo di V_{Rd} viene effettuato nella sezione di incastro tra la soletta e la spalla dove la sezione stessa ha dimensioni di 749x70 cm e considerando in favore di sicurezza le caratteristiche dei materiali esistenti.

$$b_w = 749 \text{ cm}$$

$$s = 70 \text{ cm}$$

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30,94	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	25,6802	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	33,6802	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,6	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk0,05}$	1,8	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk0,95}$	3,4	[MPa]

Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	31669	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]

Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	14,55	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,22	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	15,40812	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	11,55609	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	410	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ε_{yd}	0,001783	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ε_{su}	0,01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	356,5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	328	[MPa]

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	700	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	7490	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	650	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	50	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	22619	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	50	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	22619	[mm ²]

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE

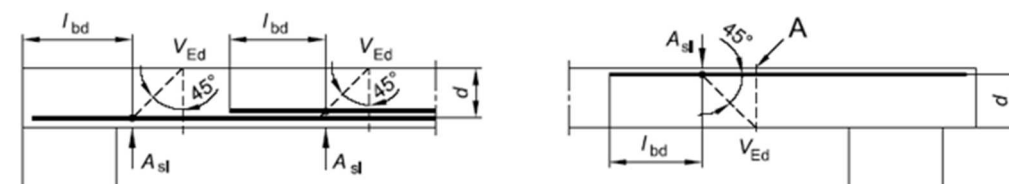
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	0	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		sì	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,55	[-]
		1,55	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0,0046461	[-]
		0,0046461	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



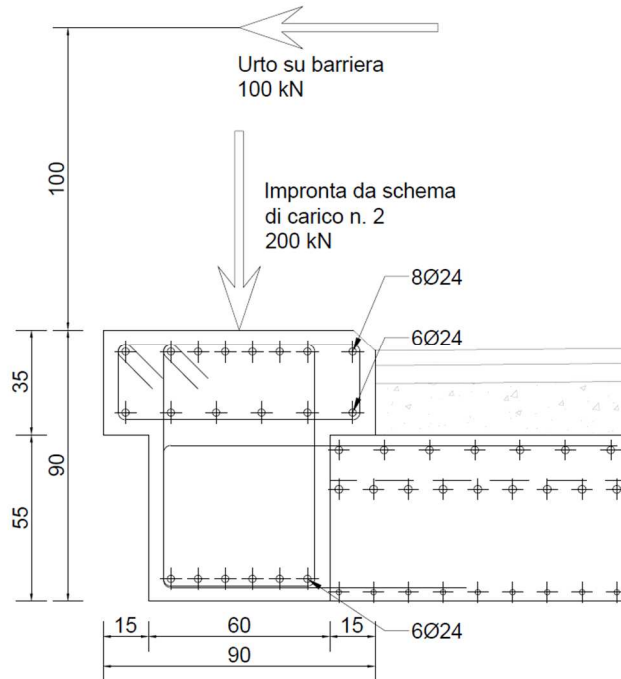
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	2075,48	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	1673,91	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	2075,48	[kN]

$$V_{Rd} = 2.075 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed}/V_{Rd} = 0,35 < 1,00 \text{ (Ok)}$$

6 PROGETTO DEI CORDOLI PORTA BARRIERA

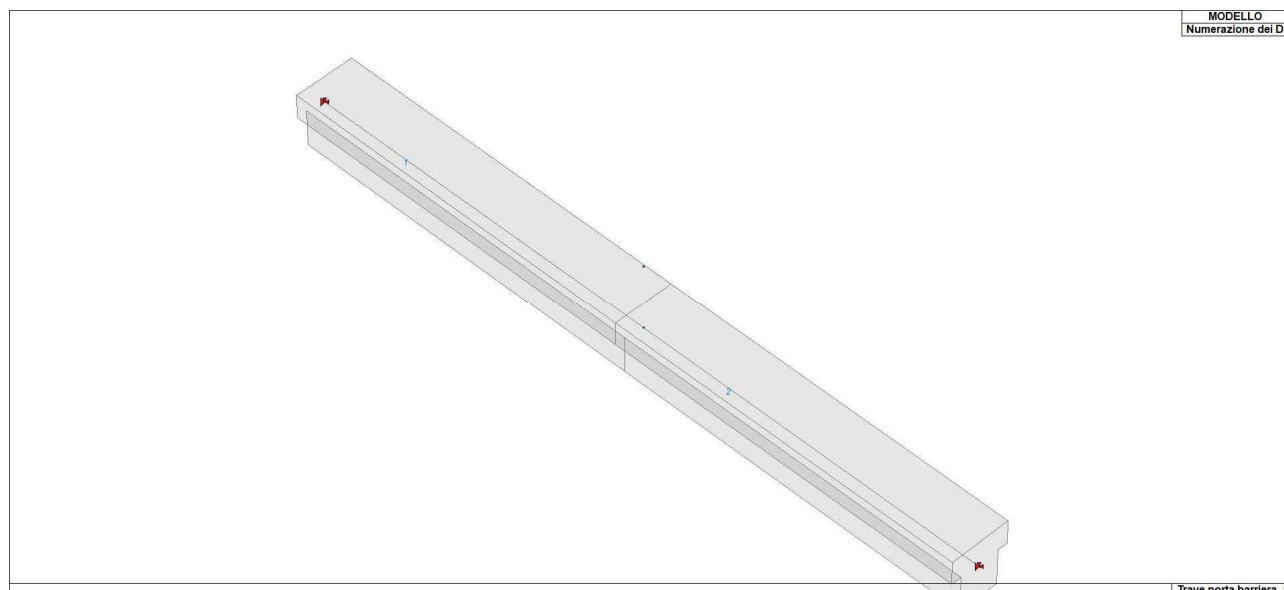
6.1 PROGETTO DELLA SEZIONE DEL CORDOLO PORTA BARRIERE SU PONTE



La nuova trave di sostegno delle barriere avrà sezione a T rovescia come sopra riportata con luce netta di 9,85 mt (lorda di 10,60 mt) e sarà incastrata alle estremità sulle spalle nella porzione in allargamento. La trave è soggetta ad un carico distribuito strutturale dovuto al peso proprio, ad un ulteriore carico distribuito non strutturale dovuto alla barriera e ad un carico accidentale dovuto all'urto che genera un momento torcente ed un momento flettente.

6.1.1 descrizione del modello

Per la modellazione FEM è stato impiegato il software PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program (build 2023-06-199) Licenza dsi5854 prodotto dalla 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l.



MATERIALE PER CORDOLO

Calcestruzzo Classe C35/45				
Id	-	-	-	u.m.
		Resistenza caratteristica cubica Rck	450.0	daN/cm2
		Resistenza caratteristica cilindrica fck	373.5	daN/cm2
		Resistenza fctm	33.5	daN/cm2
		Tensione caratteristica di snervamento acciaio	4500.0	daN/cm2
		Tipo acciaio	tipo C	
		Coefficiente gamma c	1.5	
		Coefficiente gamma s	1.1	
		Rapporto Rfessurata (assiale)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (flessione)	1.00	
		Rapporto Rfessurata (taglio)	1.00	

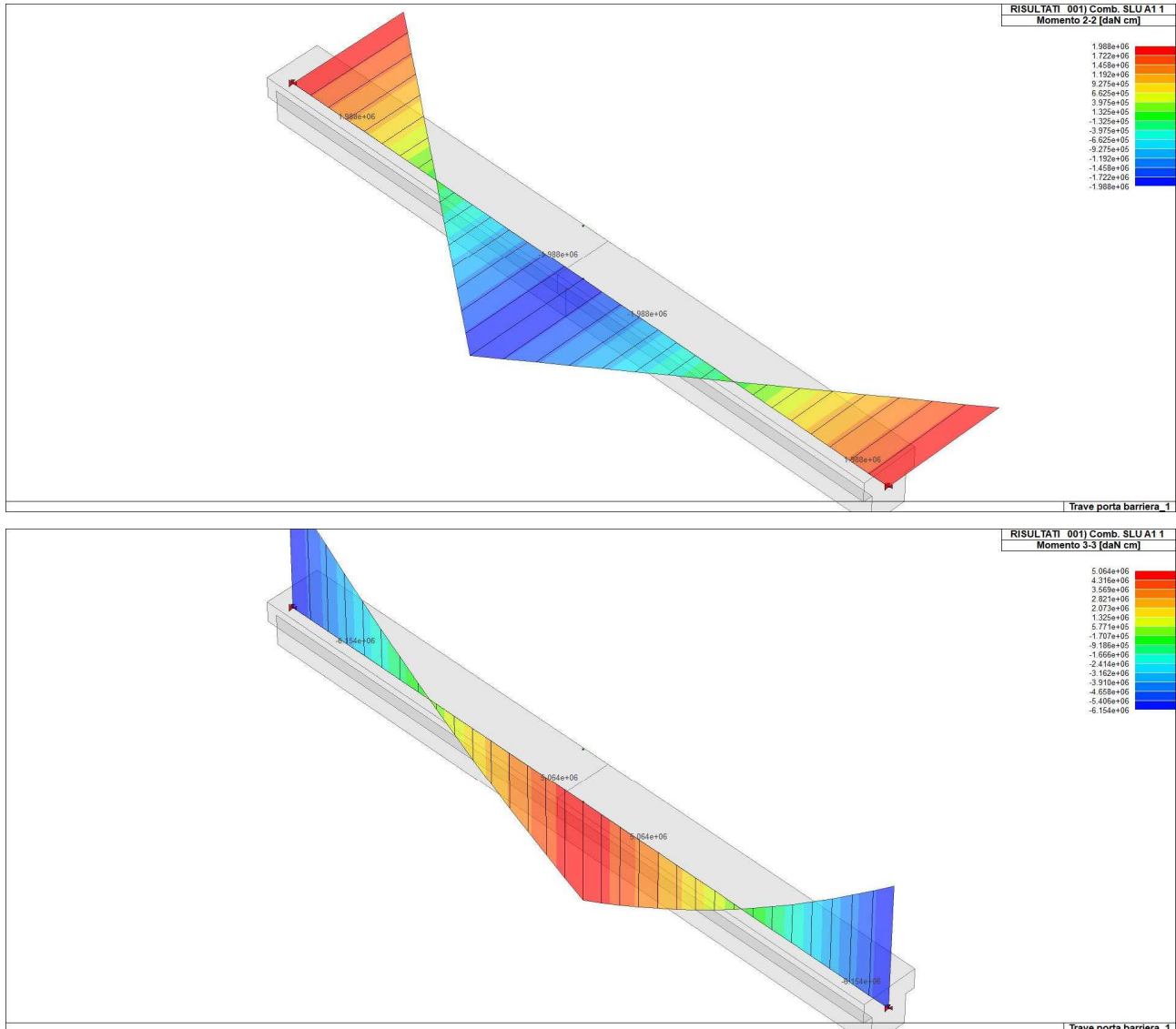
TABELLA CASI DI CARICO

CDC	Tipo CDC	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	CDC=G2k (permanente generico n.c.d.) barriera	
3	Qk	CDC=Qk (variabile generico) urto	

TABELLA COMBINAZIONI

Tipo CMB	Da	Da	A	A
-	Id	Nome	Id	Nome
SLU	1	Comb. SLU A1 1		
SLE rara	2	Comb. SLE(rara) 3		
SLE frequente	3	Comb. SLE(freq.) 4		
SLE quasi permanente	4	Comb. SLE(perm.) 4		

6.1.2 Urto in mezzeria – Verifica della sezione all’incastro



Validazione del risultato

$$\begin{aligned}
 M_{xEd} &= 1,35G_1 + 1,5G_2 + 1,5Q \\
 &= 1,35(0.645 \cdot 25 \cdot 10,6^2/12) + 1,5(1 \cdot 10,60^2/12) + 1,5(265) \\
 &= 204 + 14 + 397 = 615 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Il modello è ritenuto affidabile in quanto la sollecitazione determinata manualmente (615 kNm) coincide con quella determinata con il modello (615 kNm).

SINTESI DELLE VERIFICHE

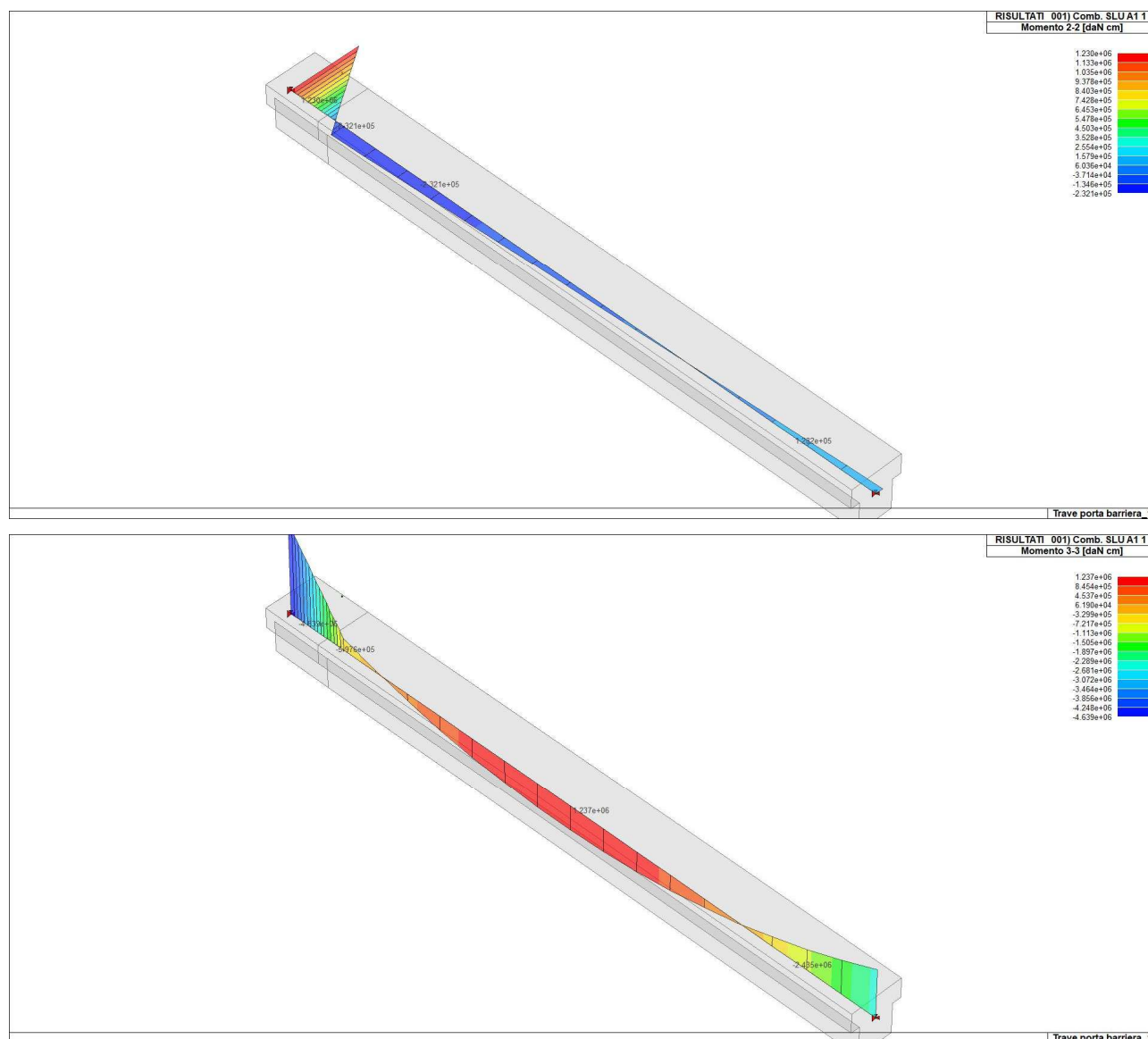
Travi in c.a.	Valore minimo	Valore massimo
Verifica N/M	0.04	0.88

SINTESI DELLE VERIFICHE

Travi in c.a.	Valore minimo	Valore massimo
Verifica V/T cls	0.23	0.28
Verifica V/T acciaio	0.70	0.98
Fessure rare [mm]	0.0	0.38
Fessure freq. [mm]	0.0	0.32
Tens. cls rare	0.01	0.28
Tens. acc rare	0.03	0.70
Tens. cls perm.	2.92e-03	0.14

Tutte le verifiche risultano soddisfatte come si evince dalla tabella sopra riportata. L'armatura in progetto risulta superiore alla minima prevista dai calcoli esecutivi.

6.1.3 Urto in PROSSIMITA' DELLA SPALLA – Verifica della sezione all'incastro



Validazione del risultato. Si considera l'avvenimento dell'urto ad una distanza di 1,00 mt dalla spalla.

$$\begin{aligned}M_{xEd} &= 1,35G_1 + 1,5G_2 + 1,5Q \\&= 1,35(0.645 \cdot 25 \cdot 10,6^2/12) + 1,5(1 \cdot 10,60^2/12) + 1,5(164) \\&= 204 + 14 + 246 = 464 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Il modello è ritenuto affidabile in quanto la sollecitazione determinata manualmente (464 kNm) coincide con quella determinata con il modello (464 kNm).

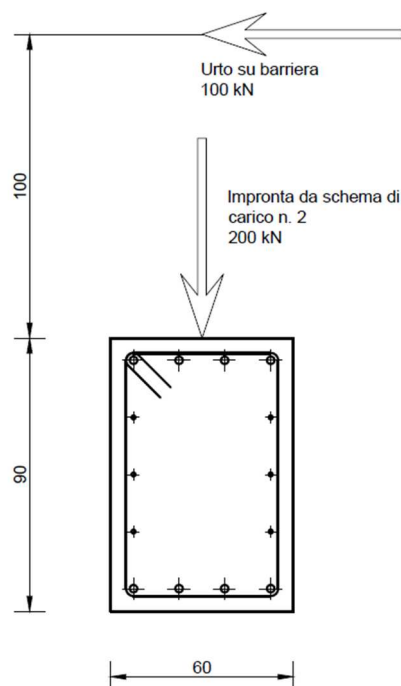
SINTESI DELLE VERIFICHE

Travi in c.a.	Valore minimo	Valore massimo
Verifica N/M	4.87e-03	0.66
Verifica V/T cls	0.04	0.48
Verifica V/T acciaio	7.87e-03	0.85
Tens. cls rare	1.66e-03	0.21
Tens. acc rare	4.99e-03	0.53
Tens. cls perm.	1.85e-03	0.14

Tutte le verifiche risultano soddisfatte come si evince dalla tabella sopra riportata. L'armatura in progetto risulta superiore alla minima prevista dai calcoli esecutivi.

6.2 PROGETTO DELLA SEZIONE DEL CORDOLO PORTA BARRIERE SU SPALLE LATERALI

Si precisa che l'intervento richiede la realizzazione di un tratto di barriera al di sopra delle spalle laterali esistenti. La nuova barriera sarà collegata alle spalle attraverso la realizzazione in opera di un cordolo dedicato in continuità a quello sul ponte ma strutturalmente scollegato dallo stesso e che avrà sezione di 60x90 cm. Il suddetto cordolo assorbirà di fatto la sola sollecitazione teorica generata dall'urto in quanto la sollecitazione flettente sarà trasmessa per intero alla sottostante spalla che la dissiperà al suolo attraverso la struttura di fondazione. Si precisa che allo stato di fatto la spalla risulta praticamente vincolata dal suo schema statico a mensola a fenomeni di deformazione dal suo schema a mensola in quanto vincolata dal collegamento piano con la spalla opposta e contrastata dal terrapieno dell'argine della chiusa.



Titolo : Trave porta barriera su spalla laterale

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	60	90

N°	As [cm²]	d [cm]
1	18,10	5
2	18,10	85

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N kN

M kNm

M 150

Materiali

B450C C35/45

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} N/mm²

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} $\sqrt{f_{cd}}$

ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ N/mm²

$\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} N/mm²

τ_{c1} N/mm²

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_s ‰

d cm

x x/d δ

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

☐ DXF

Metodo di calcolo

☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☒ Metodo n

Verifica

N° iterazioni:

☐ Precompresso