

AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E
TANGENZIALE DI BOLOGNA
INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE
INTERMEDIA DI PIANURA

PROGETTO DEFINITIVO


CORPO STRADALE

OPERE D'ARTE MAGGIORI NUOVO PONTE FIUME RENO

RELAZIONE DI CALCOLO SOTTOSTRUTTURE

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO Ing. Umberto Mele Ord. Ingg. Milano N. A18641 Responsabile Nuove Opere	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Nadia Zoratto Ord. Ingg. Milano N. A19438 T.A. - Ponti e Viadotti
--	---	--

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE 00 SCALA -
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111443	0001	PD	RQ	V01	00000	00000	R	STR	0003	-0	

	ENGINEER COORDINATOR: Arch. Flavio Camboni Ing. Raffaele Rinaldesi		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
					n.	data
					0	DICEMBRE 2021
	REDATTO:		VERIFICATO:			

	VISTO DEL COMMITTENTE  IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Fabio Visintin	VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibili DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE, LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO A RETE E I SISTEMI INFORMATIVI
--	---	--

SOTTOSTRUTTURE

RELAZIONE DI CALCOLO

INDICE

1.	PREMESSA E DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
1.1	Inquadramento territoriale	3
1.2	Inquadramento delle opere	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1	Normative e raccomandazioni	6
2.1	Bibliografia	7
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	Calcestruzzo	8
3.2	Acciaio per cemento armato	11
4.	CRITERI DI CALCOLO	12
4.1	Combinazioni di carico	12
4.1.1	Premessa	12
4.1.2	Combinazioni per la verifica allo SLU	13
4.1.3	Combinazioni per la verifica allo SLE	13
4.2	Analisi dei risultati	14
4.2.1	Premessa	14
4.2.2	Risultati delle analisi	15
5.	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALI	28
5.1	SLU – Presso-Tenso flessione	28
5.2	SLU - Taglio	28
5.3	SLE - Fessurazione	30
5.4	SLE – Tensionale	32
6.	VERIFICHE STRUTTURALI	33
6.1	Disposizione delle armature	33
6.2	Pulvino	34
6.3	Pila	45
6.4	Spalla	53
6.4.1	Armature di taglio	55

1. PREMESSA E DESCRIZIONE DELL'OPERA

1.1 Inquadramento territoriale

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi alla progettazione definitiva della linea Bologna – Bari – Taranto nella tratta Bologna Borgo Panigale – Bologna San Lazzaro.

Tale elaborato definisce la relazione di calcolo riguardante le sottostrutture del nuovo ponte sul fiume Reno. Nella figura seguente si riporta una planimetria generale in cui sarà collocata l'opera.

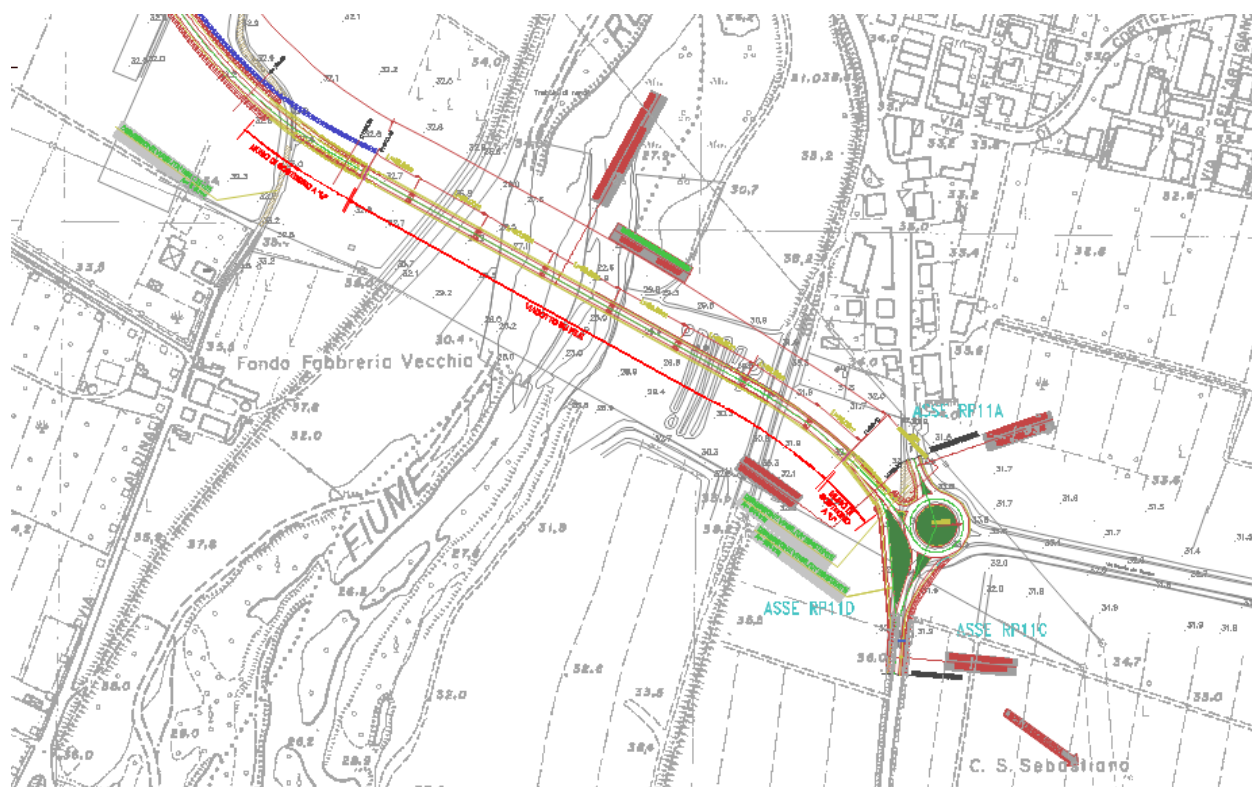


Figura 1.1 – Planimetria generale dell'opera

Nella suddetta relazione vengono riportate le analisi di calcolo e le principali verifiche strutturali in accordo agli Stati Limite. La caratterizzazione geotecnica e la conseguente definizione dei relativi parametri geotecnici, è stata effettuata sulla base di quanto facente parte della documentazione progettuale, al quale si rimanda per eventuali dettagli in merito.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti richiesti all'opera.

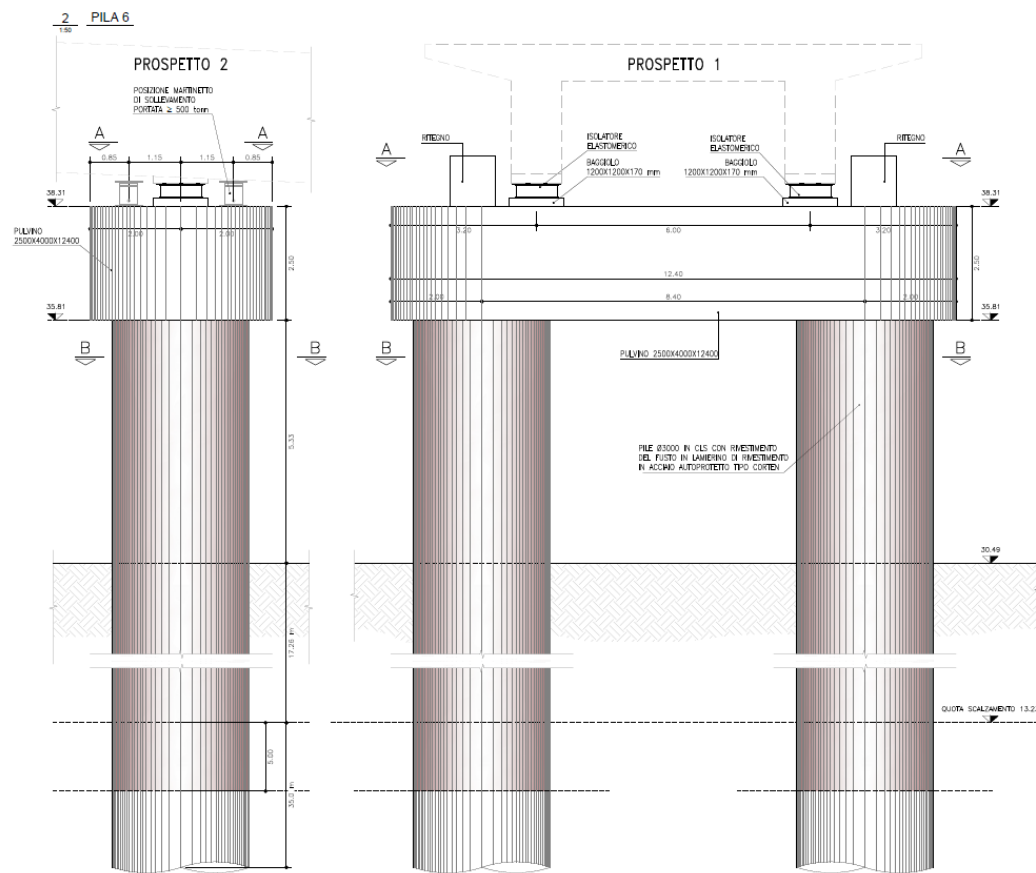


Figura 1- 4: Sezione trasversale su pila

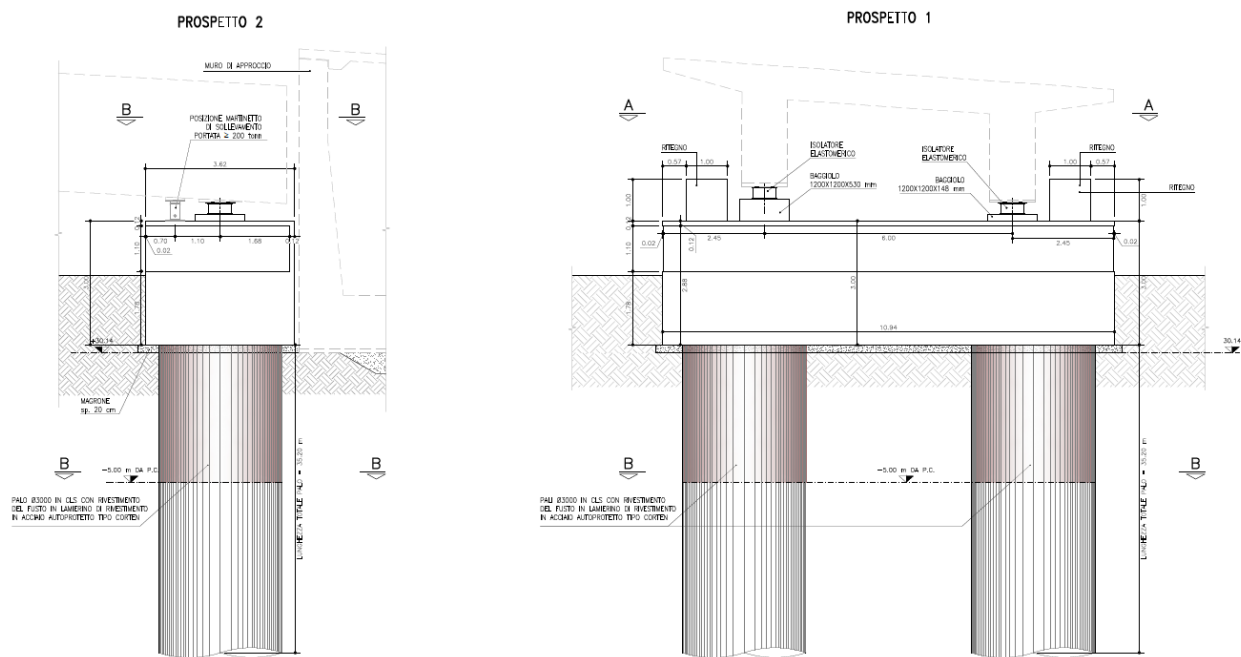


Figura 1- 5: Sezione trasversale su spalla Est

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nella stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

2.1 Normative e raccomandazioni

- D.M. 17.01.2018, "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circ. Esplicativa del 21.01.2019 n.7 C.S.L.L.P del DM2018, "Norme tecniche per le costruzioni";
- Legge n.1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge n.64 del 02/02/1974: "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale (febbraio 2008): "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive".
- CNR-DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni";
- UNI EN 197-1: "Cemento - Composizione, specifiche e criteri di conformità per cementi comuni.
- UNI EN 206-1: "Calcestruzzo - Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità".
- UNI 11104/2004: "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".
- UNI EN 1991-1-5: Azioni sulle strutture – Azioni termiche
- UNI EN 1992-1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo - regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1993-1-5: Progettazione delle strutture di acciaio – Elementi strutturali a lastra
- UNI EN 1994-1-1: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1991-2-1 (Eurocodice 1) – Marzo 2005: "Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti";
- UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio 2006: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi";
- UNI EN 1993-2 (Eurocodice 3) – Gennaio 2007: "Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 2: Ponti di acciaio";
- UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti".

- UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”;
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- UNI EN 1536:2010: “Esecuzione di lavori geotecnici speciali – Pali trivellati”.
- Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edita dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2016 ed UNI 11104:2016
- Attività specialistica di supporto per definizione requisiti di resistenza strutturale delle barriere di sicurezza integrate ASPI - Sistema integrato integautos 2.0 relazione di calcolo revisione c – 19.05.2020 - FOA_ASPI_STR203c_INTEGAUTOS 2
- Criteri per la progettazione strutturale relativa ai progetti di installazione delle barriere integrate – Tomo 2 – Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti

2.1 Bibliografia

- Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna.
- Berardi R., Lancellotta R., “Stiffness of Granular Soils from Field Performance”; (1991), Geotechnique.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera si prevede l'impiego dei materiali indicati nei paragrafi che seguono. Si indicheranno le caratteristiche prestazionali di resistenza minime e, con particolare riferimento ai calcestruzzi, anche le prescrizioni o caratteristiche da assicurare per garantire i requisiti di durabilità.

3.1 Calcestruzzo

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

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle:

- *Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2016 ed UNI 11104:2016;*
- *NTC2018 con relativa circolare esplicativa 2019;*
- *EN 1992 – 1 – 1 parte 2 : §4.4.1 Copriferro.*

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

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento Δc_{dev} . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$.

La tolleranza di posizionamento delle armature " Δc_{dev} ", per le strutture gettate in opera, viene assunta pari a 5 mm in quanto si prescrive che l'esecuzione sia sottoposta ad un sistema di assicurazione della qualità, nella quale siano incluse le misure dei copriferri (si può far utile riferimento l'approvazione degli annessi nazionali degli eurocodici 4.4.1.3 – 4.3N ove si riporta la sua variabilità $10mm > \Delta c_{dev} > 5mm$)

Dall'allegato 20.15 del CSA e dalla tabella materiali condivisa si estrapolano le classi di esposizione ed i minimi di classe di calcestruzzo per tutti gli elementi caratterizzanti il progetto. Si riportano dunque all'interno della seguente tabella riepilogativa anche i minimi normativi e se ne evidenzia la classe di calcestruzzo scelta.

C
SA

NT	CSA	SCE
C18		LTO

Elemento	E sp.	Condizioni ambientali NTC2018 - Tab 4.1.III	Classe min	Classe min	Classe scelta	A/ C max	Min. cemento
						-	kg/m ³
Elevazioni Spalle, Pile e Pulvino	X A2	Aggressive	C3 0/37	C25/ 30	C32/ 40	0.5 0	340
Magrone	X C0	-	C1 2/15	C12/ 15	C12/ 15	-	-

Tabella 3.1 – Classi di esposizione e di calcestruzzo

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 3.2 – Condizioni ambientali NTC2018

Si passa alla determinazione dei copriferri considerando la condizione più limitante tra quanto calcolato dalle NTC2018 §4.1.6.1.3 “Copriferro ed interferro” e dalle UNI EN 1992-1-1 § 4.4.1 “Copriferro” avendo come base il CSA. Per quanto attiene il calcolo del copriferro minimo secondo le NTC2018 si riporta la tabella.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C _{min}	C ₀	ambiente	C ₂ C ₀	C _{min} ≤C<C ₀	C ₂ C ₀	C _{min} ≤C<C ₀	C ₂ C ₀	C _{min} ≤C<C ₀	C ₂ C ₀	C _{min} ≤C<C ₀
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 3.3 – Copriferri minimi NTC2018

Per quanto riguarda invece il calcolo del copriferro minimo secondo EN 1992-1-1 si segue il procedimento richiesto utilizzando le tabelle qui riportate e le annotazioni sul copriferro nominale nel caso di struttura a diretto contatto con superfici irregolari e con il terreno §4.4.1.3(4) relativamente $c_{nom} = k1 = 40mm$ e $c_{nom} = k2 = 75mm$.

- (5) Con un calcestruzzo di peso normale, il copriferro minimo delle armature, in accordo con la EN 10080 e che tenga conto delle classi di esposizione e delle classi strutturali è dato da $c_{min,dur}$.

Nota La classificazione strutturale e i valori di $c_{min,dur}$ da adottare in uno Stato possono essere reperiti nella sua appendice nazionale. La Classe Strutturale raccomandata (vita utile di progetto di 50 anni) è S4 per le resistenze indicative del calcestruzzo date nell'appendice E e le modifiche raccomandate alle classi strutturali sono date nel prospetto 4.3N. La Classe Strutturale minima raccomandata è S1. I valori raccomandati di $c_{min,dur}$ sono dati nel prospetto 4.4N (acciai da armatura ordinaria) e nel prospetto 4.5N (acciai da precompressione).

prospetto 4.3N Classificazione strutturale raccomandata

Classe Strutturale							
Criterio	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Vita utile di progetto di 100 anni	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi	aumentare di 2 classi
Classe di resistenza ^{1) 2)}	$\geq C30/37$ ridurre di 1 classe	$\geq C30/37$ ridurre di 1 classe	$\geq C35/45$ ridurre di 1 classe	$\geq C40/50$ ridurre di 1 classe	$\geq C40/50$ ridurre di 1 classe	$\geq C40/50$ ridurre di 1 classe	$\geq C45/55$ ridurre di 1 classe
Elemento di forma simile ad una soletta (posizione delle armature non influenzata dal processo costruttivo)	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe
È assicurato un controllo di qualità speciale della produzione del calcestruzzo	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe	ridurre di 1 classe

prospetto 4.4N Valori del copriferro minimo, $c_{min,dur}$, requisiti con riferimento alla durabilità per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080

Requisito ambientale per $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

- (4) Per calcestruzzo messo in opera a contatto con superfici irregolari, si raccomanda che il copriferro minimo sia generalmente aumentato per tener conto dei maggiori scostamenti nel progetto. Si raccomanda che tale aumento sia in relazione con la differenza provocata dalle irregolarità e il copriferro minimo sia almeno pari a k_1 mm per calcestruzzo messo in opera contro terreni trattati (incluso calcestruzzo di spianatura) e k_2 mm per calcestruzzo messo in opera direttamente contro il terreno. Si raccomanda di aumentare il copriferro anche nei casi in cui siano presenti irregolarità superficiali, quali per esempio finiture striate o aggregati a vista, in modo da tener conto dell'irregolarità superficiale [vedere punto 4.4.1.2 (11)].

Nota I valori di k_1 e k_2 da adottare in uno Stato possono essere reperiti nella sua appendice nazionale. I valori raccomandati sono rispettivamente 40 mm e 75 mm.

Tabelle 3.4 – EN1992-1-1 §4.4.1

Si ricorda che la Vita nominale è pari a 50 anni. Si riporta dunque il calcolo del copriferro minimo.

Elemento	Esp.	Esposizione equivalente secondo tabella 4.4N	CLASSE S	Classe scelta	C _{min,dur} mm	C _{min,dur} ⁺ mm	Tabella 4.3 N					NUOVA CLASSE S	C _{min,dur} mm
			VN 50ANNI				VN > 100anni	C > C'?	Piastra?	Qualità di posa	n° riduzioni		
Elevazioni Spalle, Pulvino e Pile	XA2	XD1 / XS1 (XF2,3 - XA1,2)	4	C32/40	35	-	-	-	-	✓	1	3	35
Magrone	XC0	XC0	4	C12/15	10	-	-	-	-	-	0	4	10

Tabella 3.5 – Copriferri minimi EN1992-1-1

Se ne riepiloga in tabella le precedenti valutazioni e si riportano anche le aperture di fessurazione limite in funzione delle condizioni ambientali per chiarezza.

Elemento	CSA	Condizioni ambientale NTC2018 - Tab 4.1.III	SCELTO	CSA	NTC18 - C4.1.6.1.3				UNI EN 1992 - 1.1 - §4.4.1			NTC-EN2	SCELTO
	Esp.		Classe scelta	C _{min} mm	Piastra?	C _{min} mm	Δ _{dev} ⁺ mm	C _{nom} mm	C _{min} mm	Δ _{dev} ⁺ mm	C _{nom} mm	C _{nom,MAX} mm	C _{nom} mm
Elevazioni Spalle, Pulvino e Pile	XA2	Aggressive	C32/40	-	-	35	5	40	35	5	40	40	40
Magrone	XC0	-	C12/15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 3.6 – Copriferri di progetto

In conformità a quanto descritto in precedenza, le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo utilizzate nell'analisi/verifiche sono le seguenti:

Grandezza				u.m.	C32/40
Resistenza compressione	caratteristica	a	f _{ck}	N/mm ²	32,00
Resistenza compressione	di progetto	a	f _{cd}	N/mm ²	18,13
Resistenza trazione	caratteristica	a	f _{ctk}	N/mm ²	2,12
Tensione di aderenza armatura	di	cls-	f _{bd}	N/mm ²	3,18
Tensione compressione (comb. rara)	massima	di	σ _c	N/mm ²	19,20
Tensione compressione (comb. quasi perm.)	massima	di	σ _c	N/mm ²	14,40
Modulo elastico medio istantaneo			E _m	N/mm ²	33346

Tabella 3.7 – Proprietà meccaniche dei calcestruzzi adottati

3.2 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano per le armature degli elementi in c.a. la seguente tipologia di acciaio:

Acciaio tipo: B450 C Saldabile controllato in stabilimento

In conformità a quanto sopra, le caratteristiche meccaniche dell'acciaio d'armatura utilizzate nell'analisi/verifiche sono le seguenti:

Proprietà		Requisito
Limite di snervamento	f_y	≥ 450 MPa
Limite di rottura	f_t	≥ 540 MPa
Allungamento totale al carico massimo	A_{gt}	$\geq 7.5\%$
Rapporto	f_t/f_y	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto	$f_y \text{ misurato} / f_y \text{ nom}$	$\leq 1,25$

Tabella 3.8 – Proprietà meccaniche

4. CRITERI DI CALCOLO

In ottemperanza al D.M. 2018 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

4.1 Combinazioni di carico

4.1.1 Premessa

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al cap. 2 delle NTC.

Di seguito si riporta lo specchietto riassuntivo delle combinazioni di carico previste dalla norma:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (**SLE-CH**) irreversibili e valutazione degli stati tensionali:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (**SLE-FR**) reversibili utilizzata nella verifica a fessurazione e per controllo stati tensionali:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (**SLE-QP**) a lungo termine utilizzata nella verifica a fessurazione e per controllo stati tensionali;

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d che sono le condizioni di urto dei veicoli:

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

4.1.2 Combinazioni per la verifica allo SLU

Gli stati limite ultimi delle opere interrato si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

Le verifiche agli stati limite ultimi sono eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- **A1+M1+R3: STR:** raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali

Per quanto riguarda il sovraccarico da traffico veicolare si prende come riferimento il capitolo dei ponti nelle NT e si riporta quanto segue.

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

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per le azioni

4.1.3 Combinazioni per la verifica allo SLE

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/stato tensionale) si adoperano le combinazioni di carico rara, frequente e quasi permanente. Le QP sono assimilate alle FR.

4.2 Analisi dei risultati

4.2.1 Premessa

Si riporta in forma grafica e tabellare i risultati estrapolati dal modello di calcolo sviluppato nel software Midas Civil che contempla il viadotto e le relative sottostrutture sino alla quota di intersezione delle pile con il piano campagna o il piano di scalzamento.

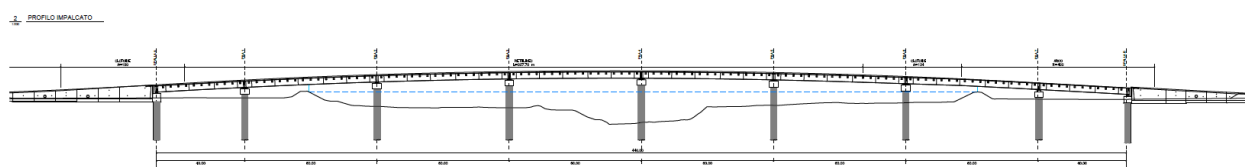


Figura 1- 6: Sviluppo del viadotto

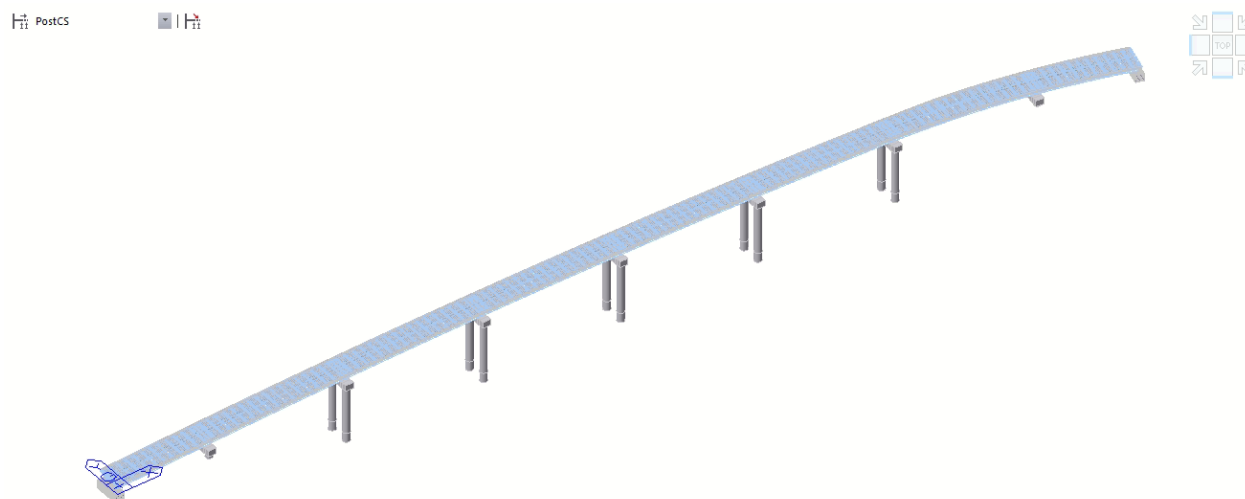


Figura 1- 7: Stralcio modello di calcolo

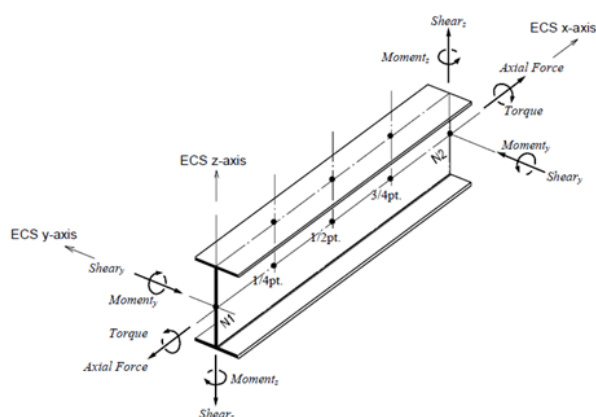
Si descrivono le unità di misura adottate:

▪ Lunghezze	m
▪ Carichi	kN, kN/m, kN/m ²
▪ Peso per unità di volume	kN/m ³
▪ Momenti flettenti	kNm
▪ Sforzo assiali al metro di lunghezza	kN
▪ Azioni taglienti al metro di lunghezza	kN
▪ Massa	ton kN/g

Chiave di lettura dell'output

Nei modelli ad elementi finiti si farà ricorso alle seguenti convenzioni:

RISULTATI DI ANALISI STRUTTURALI	
DX, DY, DZ	Spostamenti nodali nelle dimensioni lineari del modello.
RX, RY, RZ	Rotazioni, in radianti.
Axial Force	Sforzi normali di compressione (negativi) e di trazione (positivi)
My, Mz	Momenti flettenti (My e Mz) nei piani principali d'inerzia rispett. xz e yz.
Shear y, Shear z	Sforzi di taglio nelle direzioni locali rispettivamente y e z.
Torque	Momenti torcenti alle due estremità della trave.



Con elemento "Truss" si intenderà un elemento dotato di sola rigidità assiale avente 3 gradi di libertà per nodo, mentre con elemento "Beam" si intenderà un elemento dotato di rigidità assiale, flessionale e torsionale dotato di 6 gradi di libertà per ciascun nodo.

Le lettere maiuscole X, Y, Z identificano i tre assi del sistema di riferimento globale, mentre le lettere minuscole x, y, z identificano i tre assi del sistema di riferimento locale.

4.2.2 Risultati delle analisi

Si rimuovono le sole intersezioni tra le "beam" di lunghezza pari allo spessore della sezione/4.

4.2.2.1 Inviluppo per combinazioni: SLE - Pile

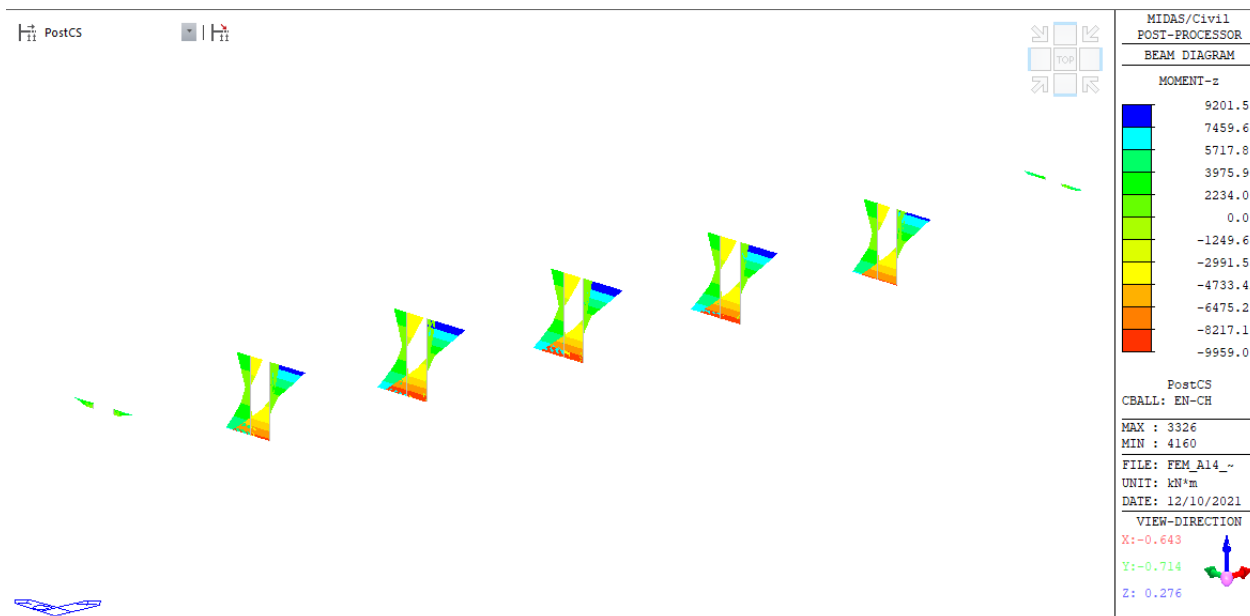


Figure 1 CH Flessione

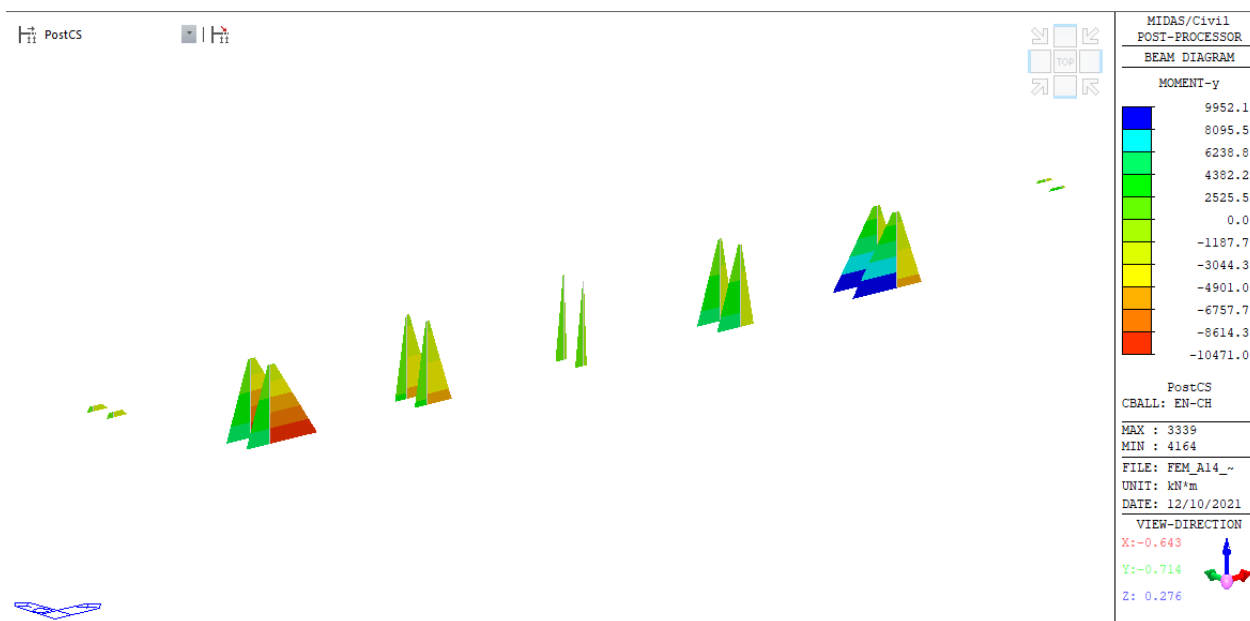


Figure 2 CH Flessione

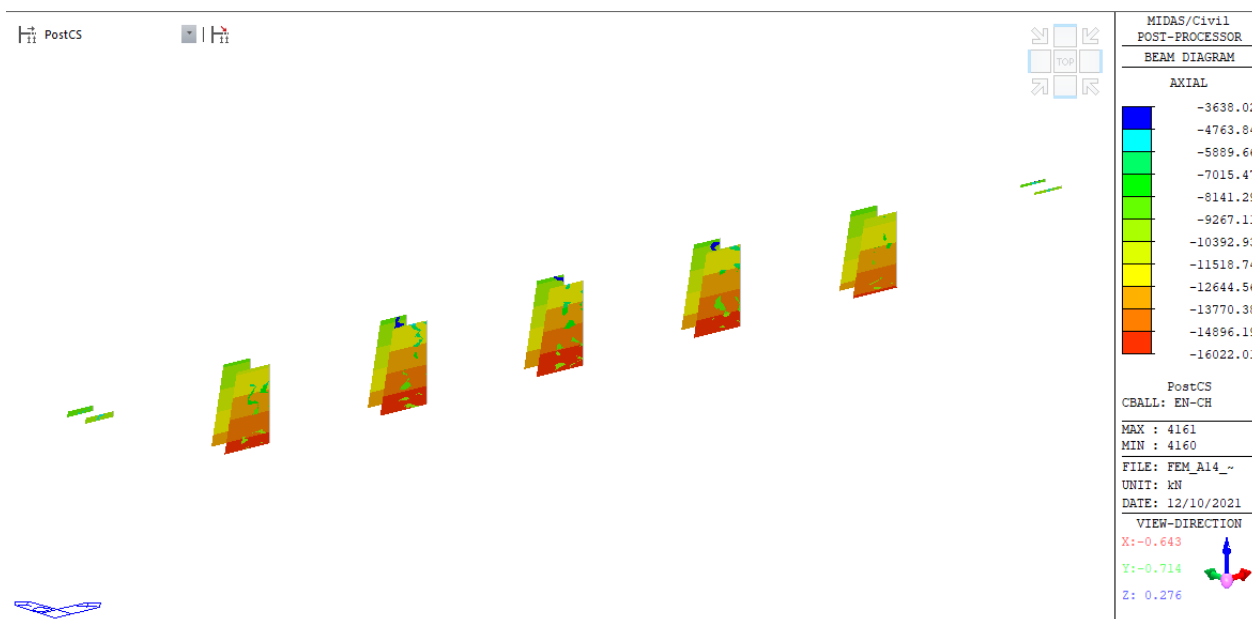


Figure 3 Assiale

4.2.2.2 Involuppo per combinazioni: SLU - Pile

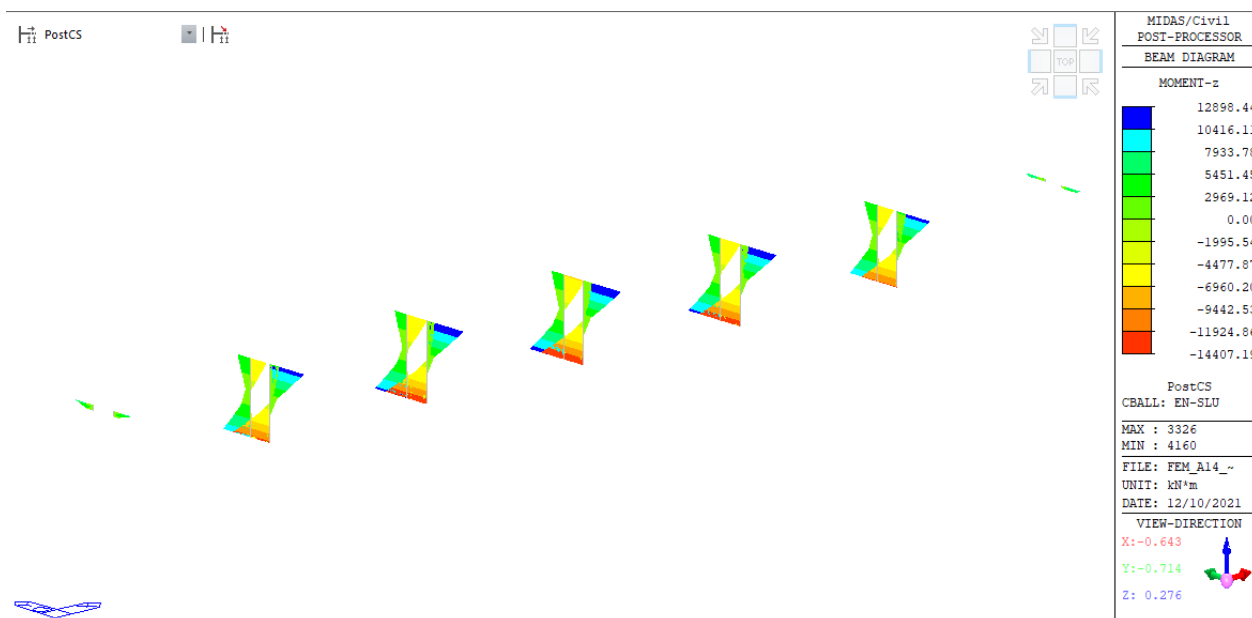


Figure 4 SLU Flessione

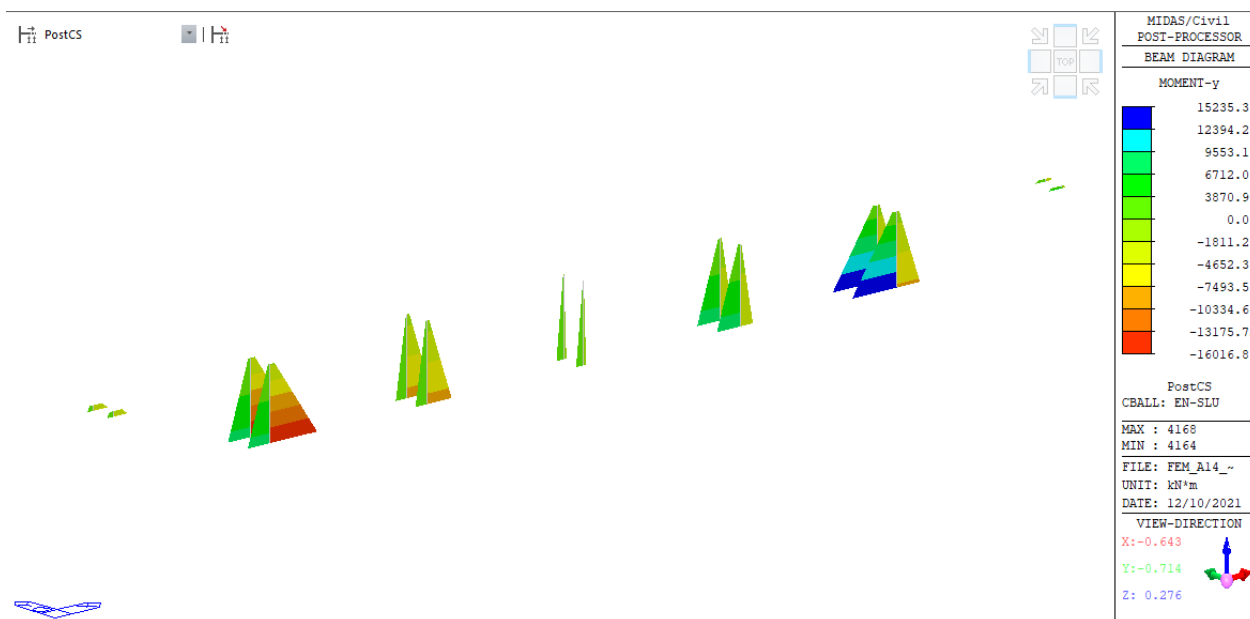


Figure 5 SLU Flessione

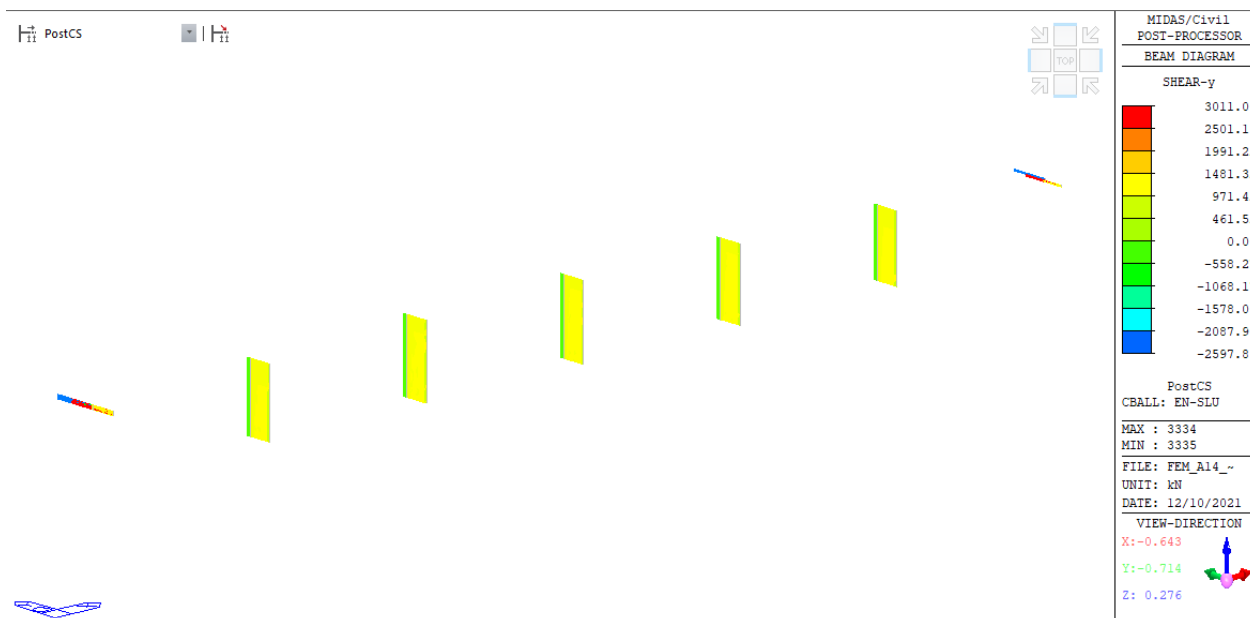


Figure 6 SLU Taglio

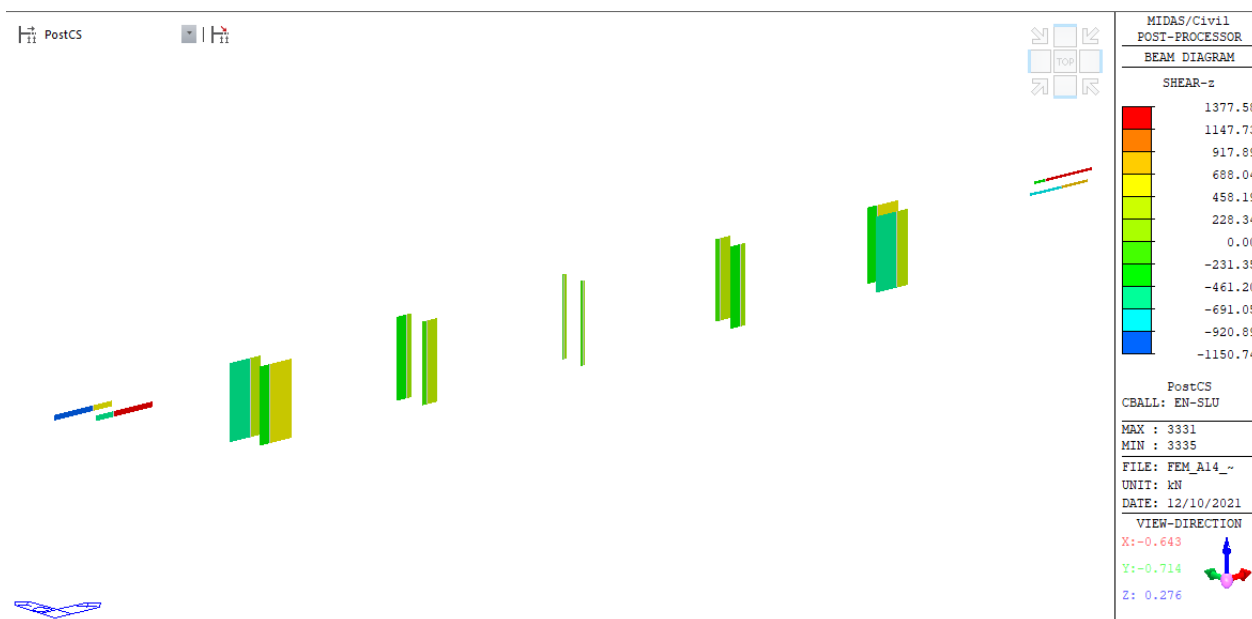


Figure 7 SLU Taglio

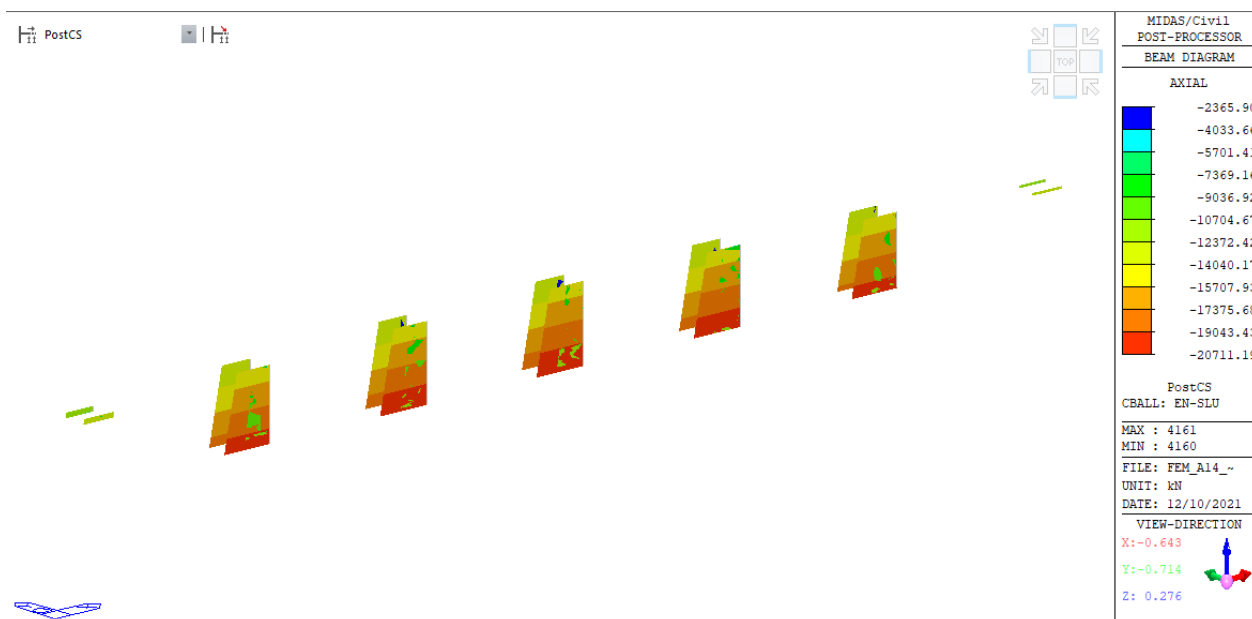


Figure 8 SLU Assiale

4.2.2.3 Involuppo per combinazioni: SLV - Pile

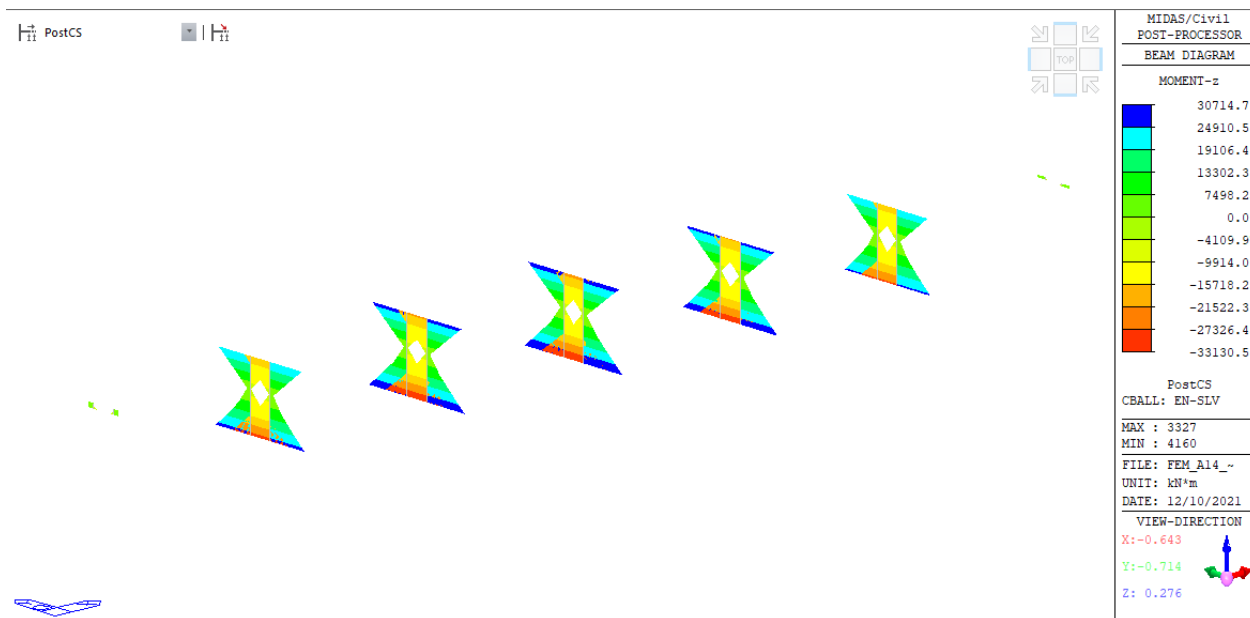


Figure 9 SLR Flessione

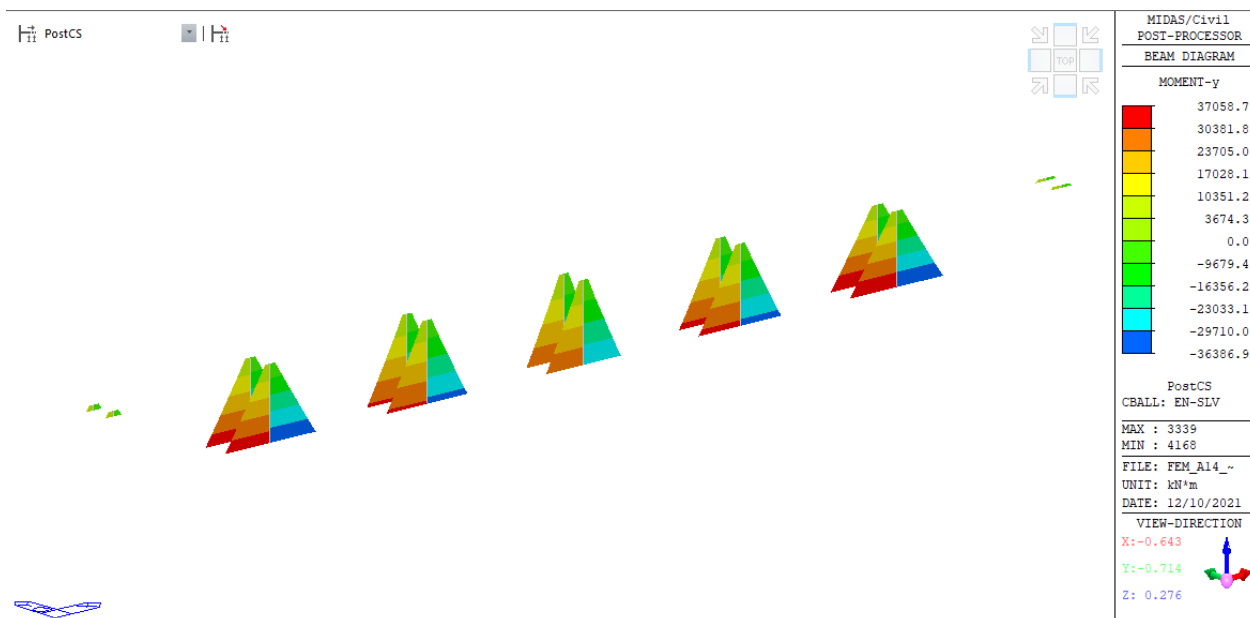


Figure 10 SLV Flessione

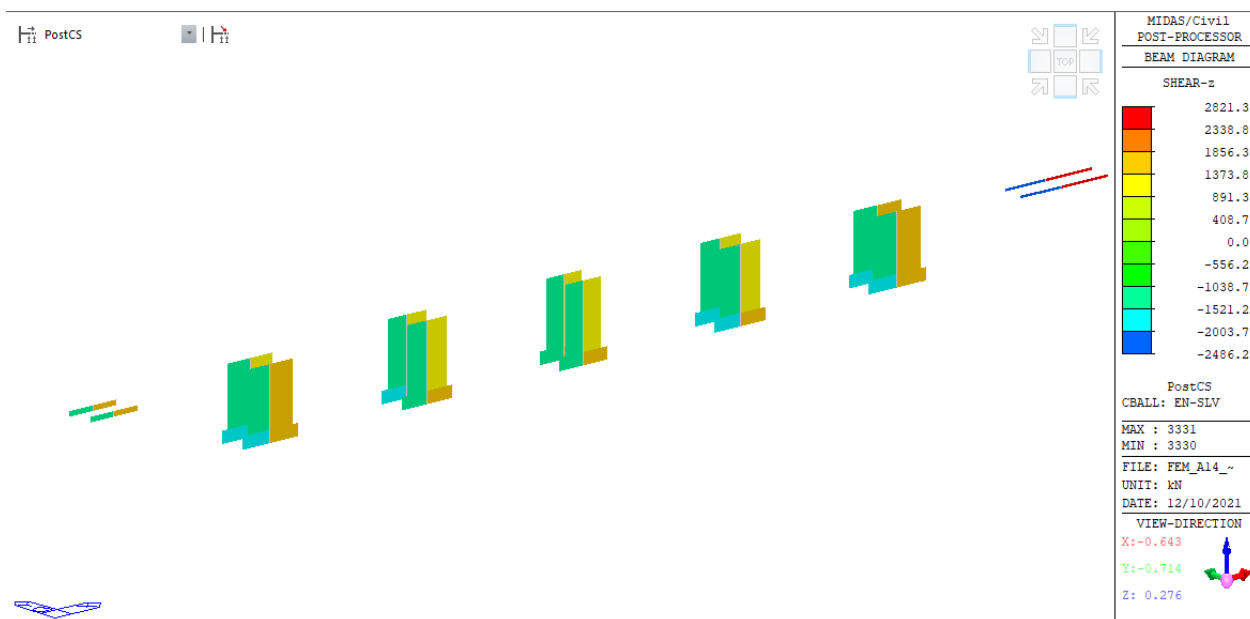


Figure 11 SLV Taglio

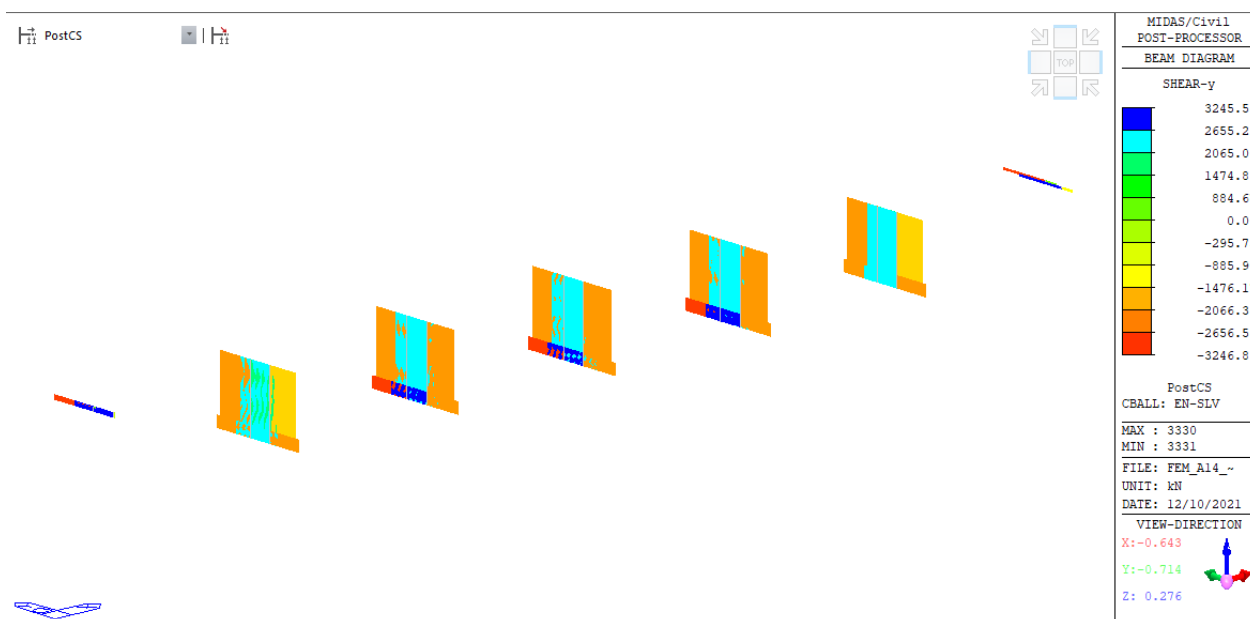


Figure 12 SLV Taglio

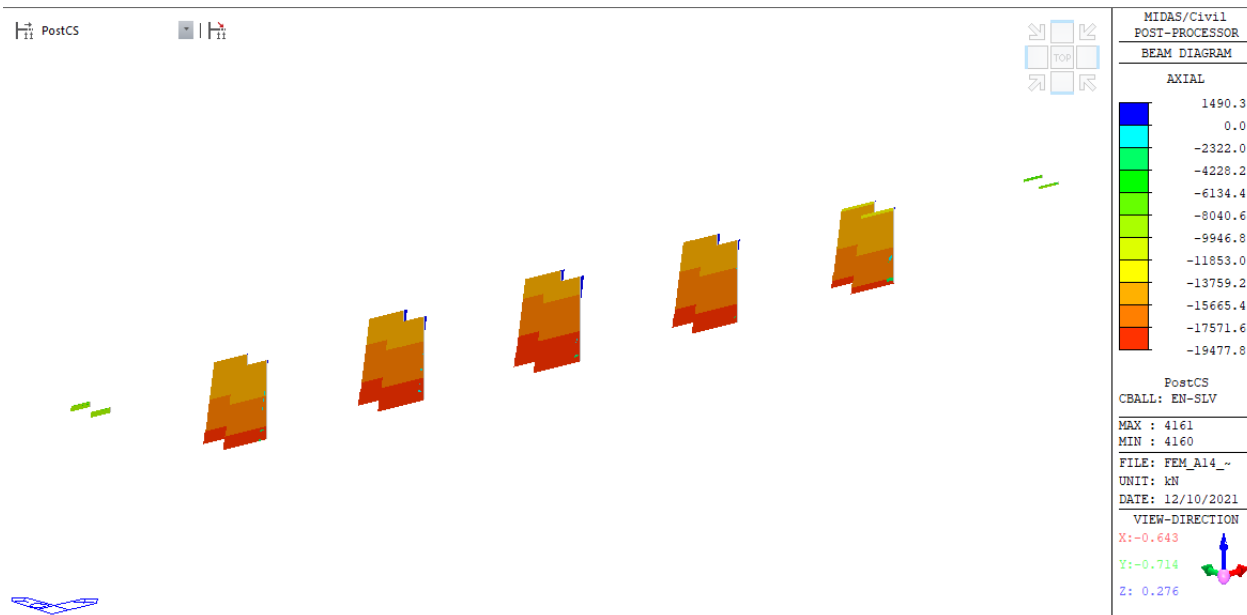


Figure 13 SLV Assiale

4.2.2.4 Involuppo per combinazioni: SLE – Pulvino

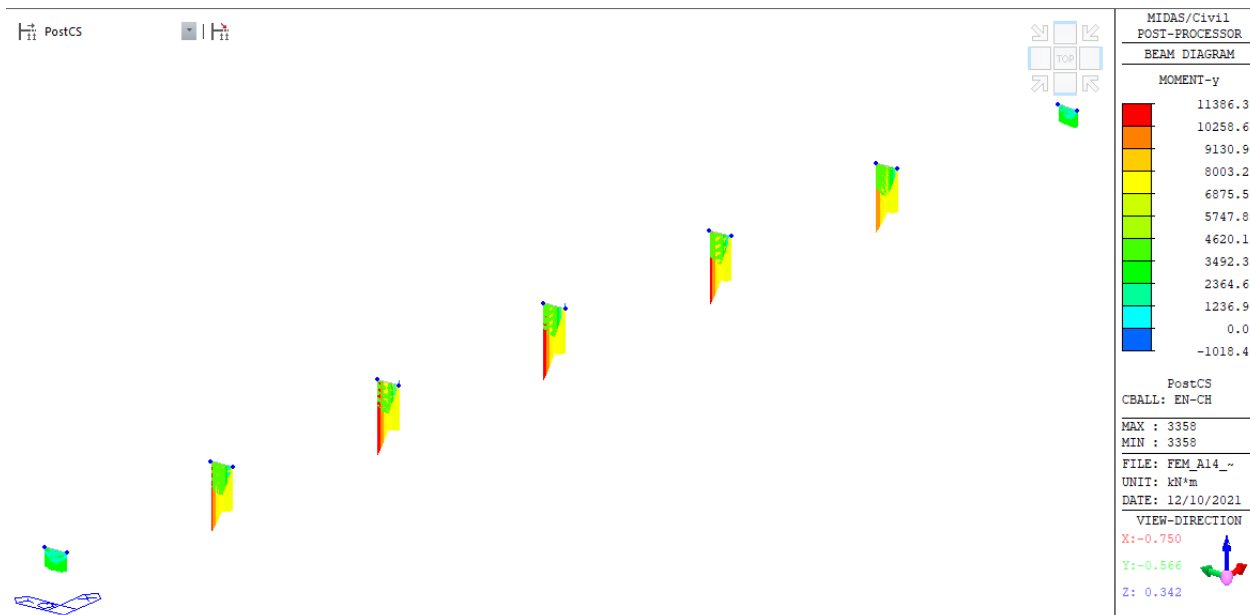


Figure 14 SLE Flessione

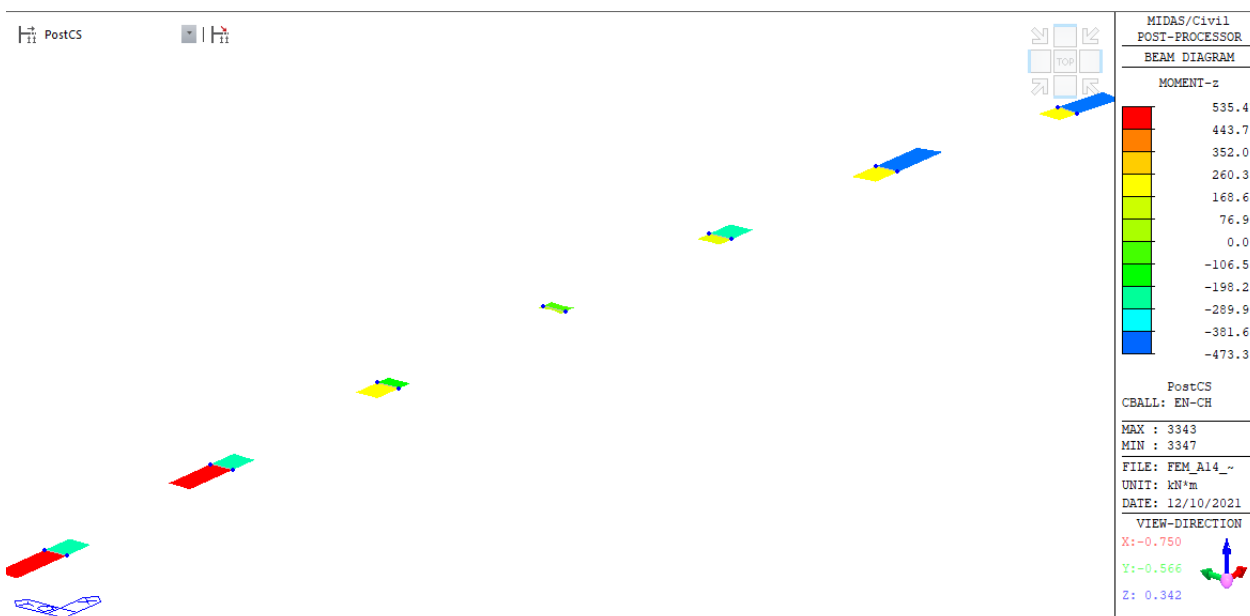


Figure 15 SLE Flessione

4.2.2.1 Inviluppo per combinazioni: SLU – Pulvino

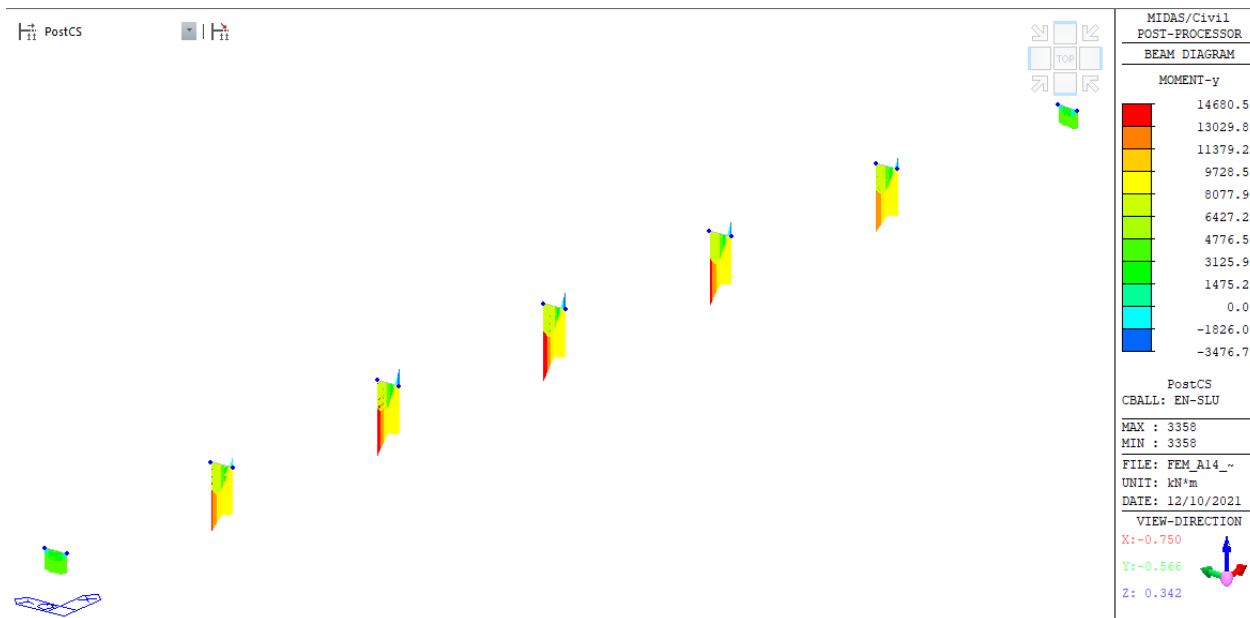


Figure 16 SLU Flessione

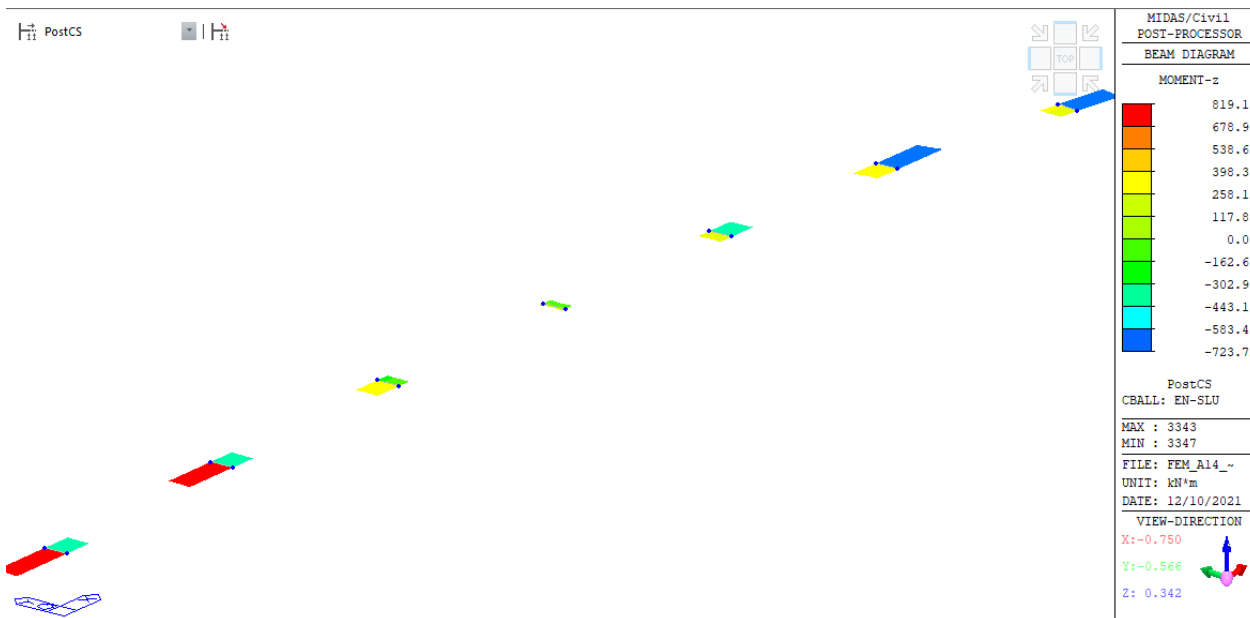


Figure 17 SLU Flessione

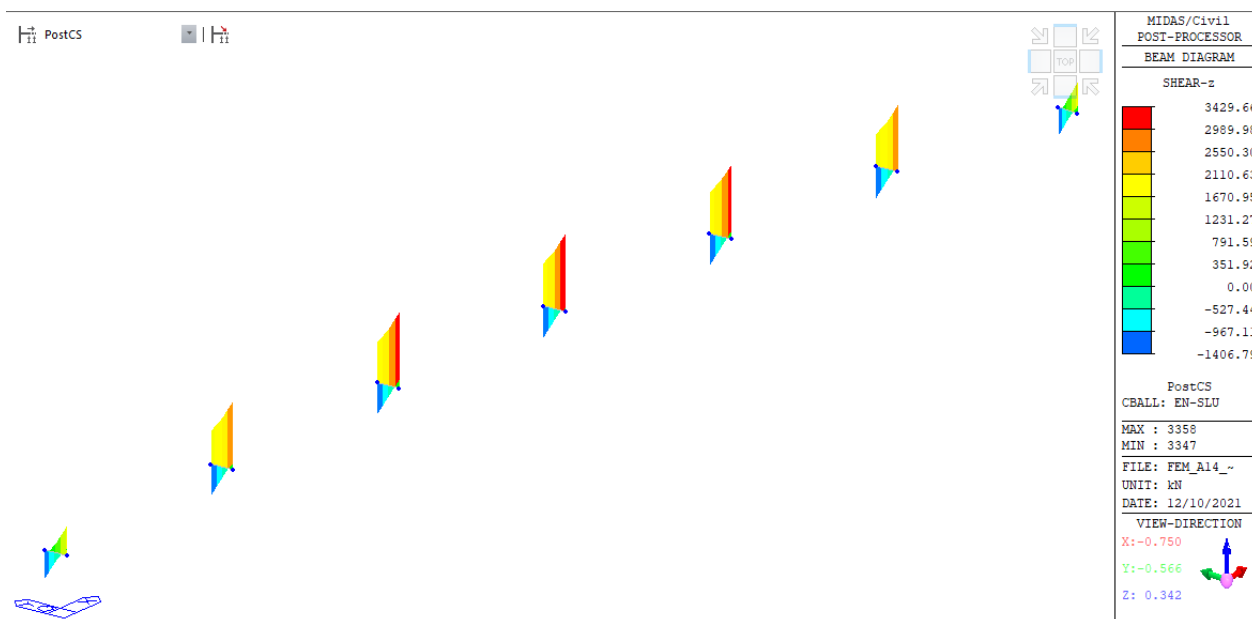


Figure 18 SLU Taglio

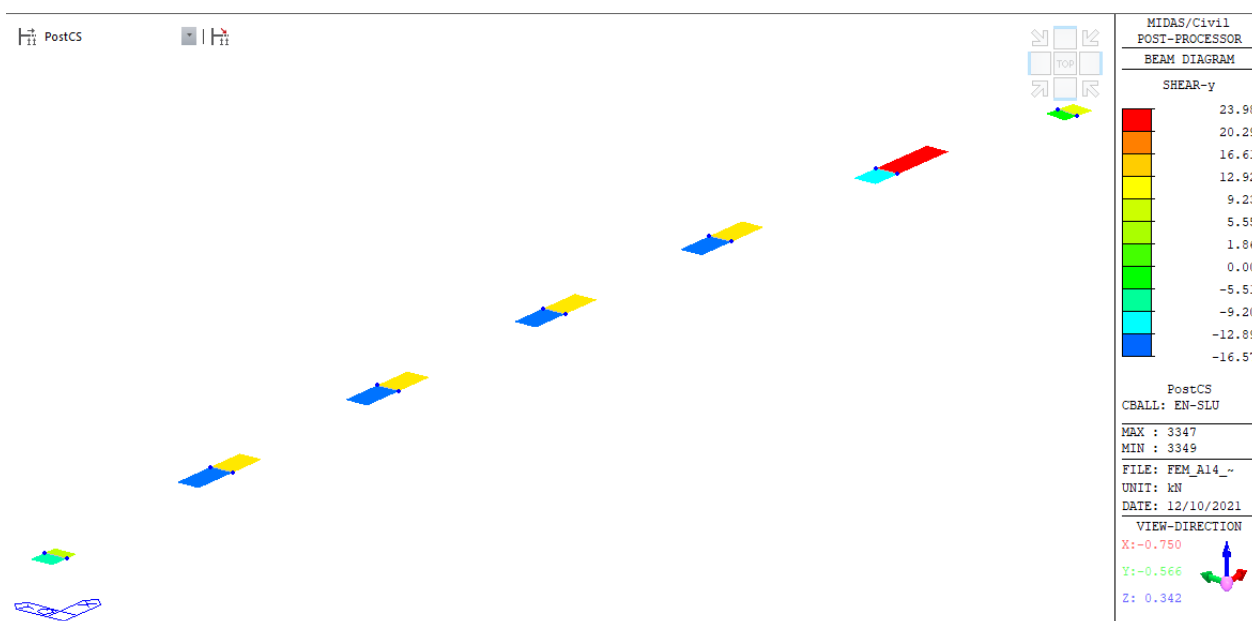


Figure 19 SLU Taglio

4.2.2.2 Inviluppo per combinazioni: SLV – Pulvino

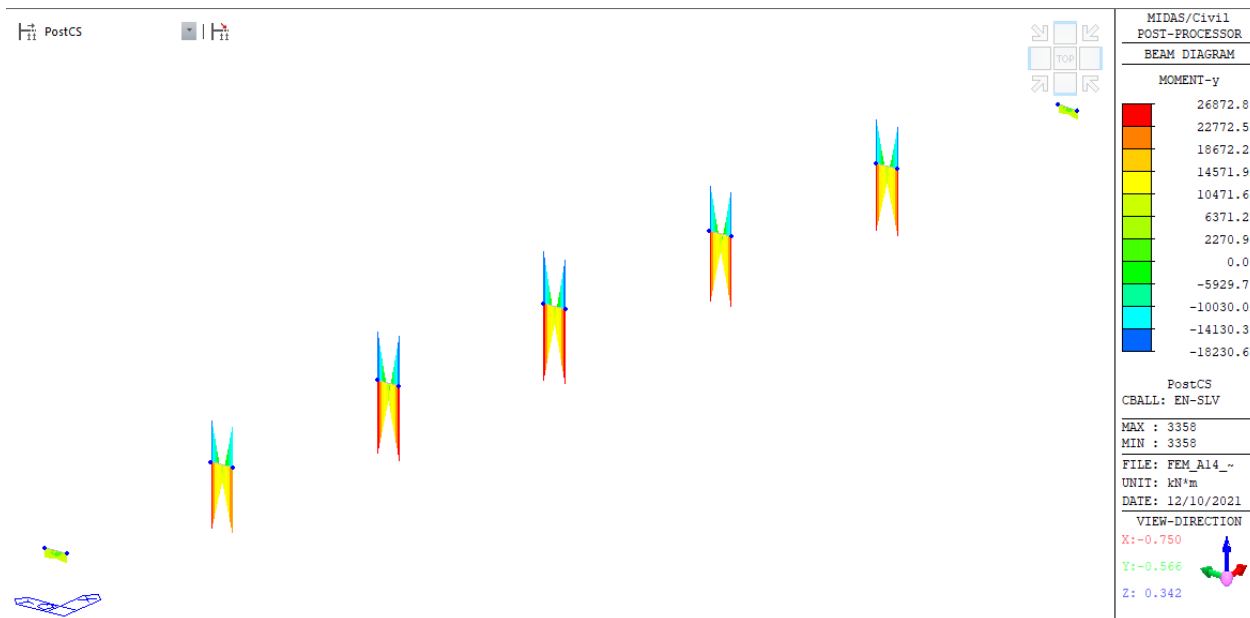


Figure 20 SLV Flessione

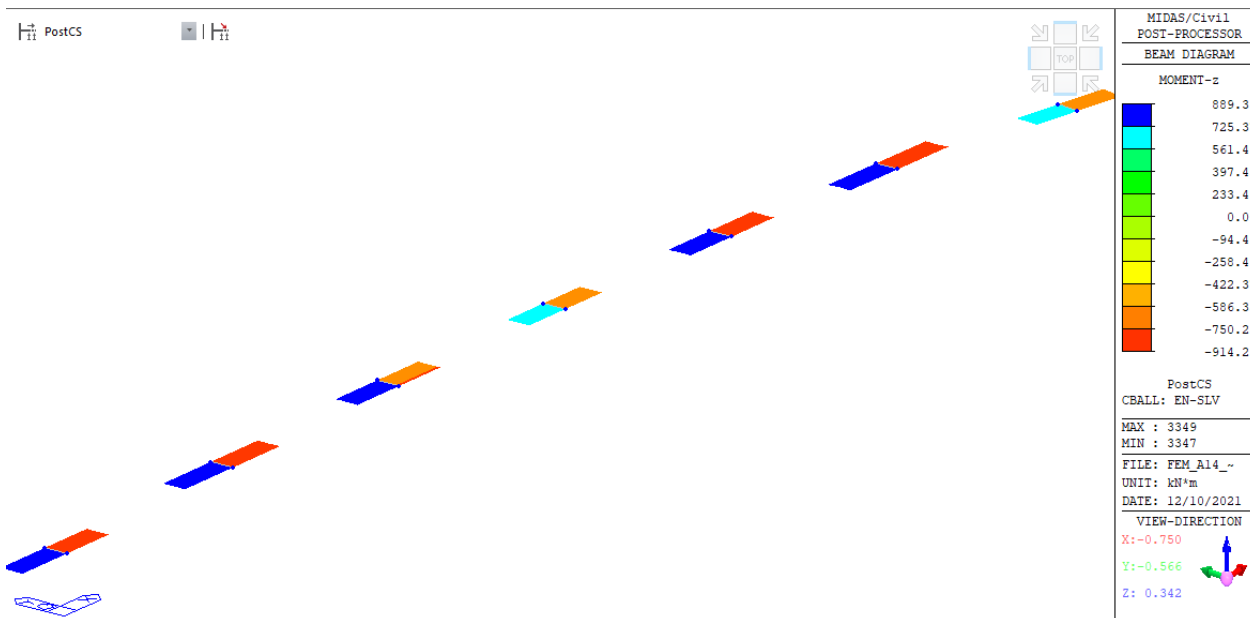


Figure 21 SLV Flessione

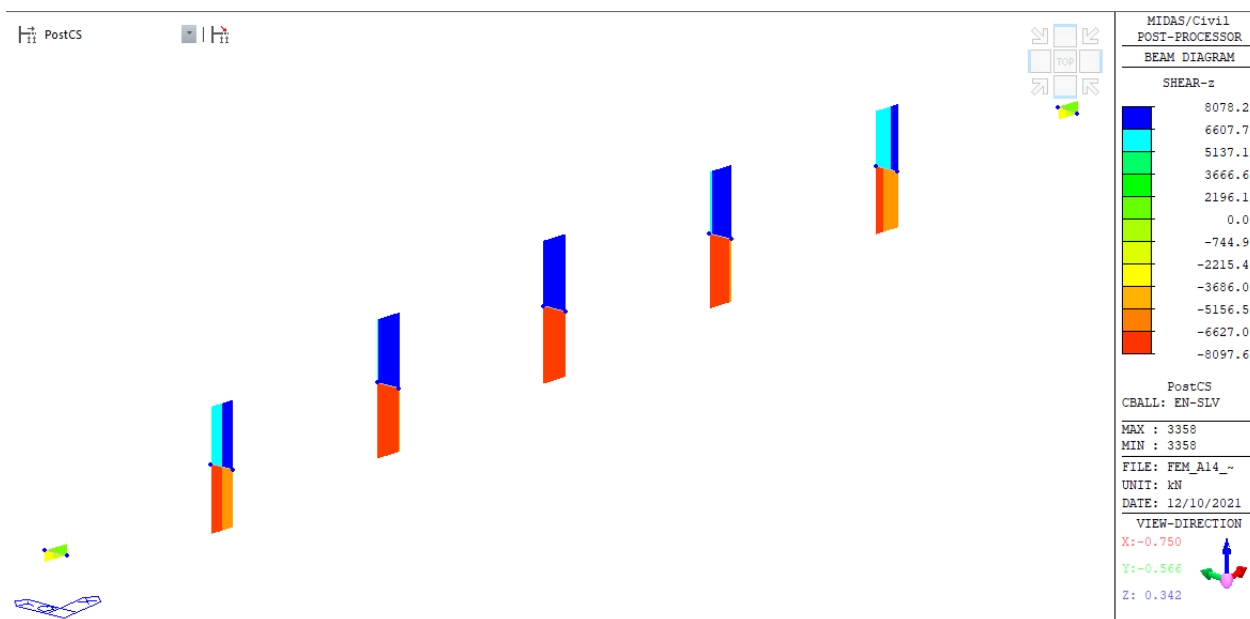


Figure 22 SLV Taglio

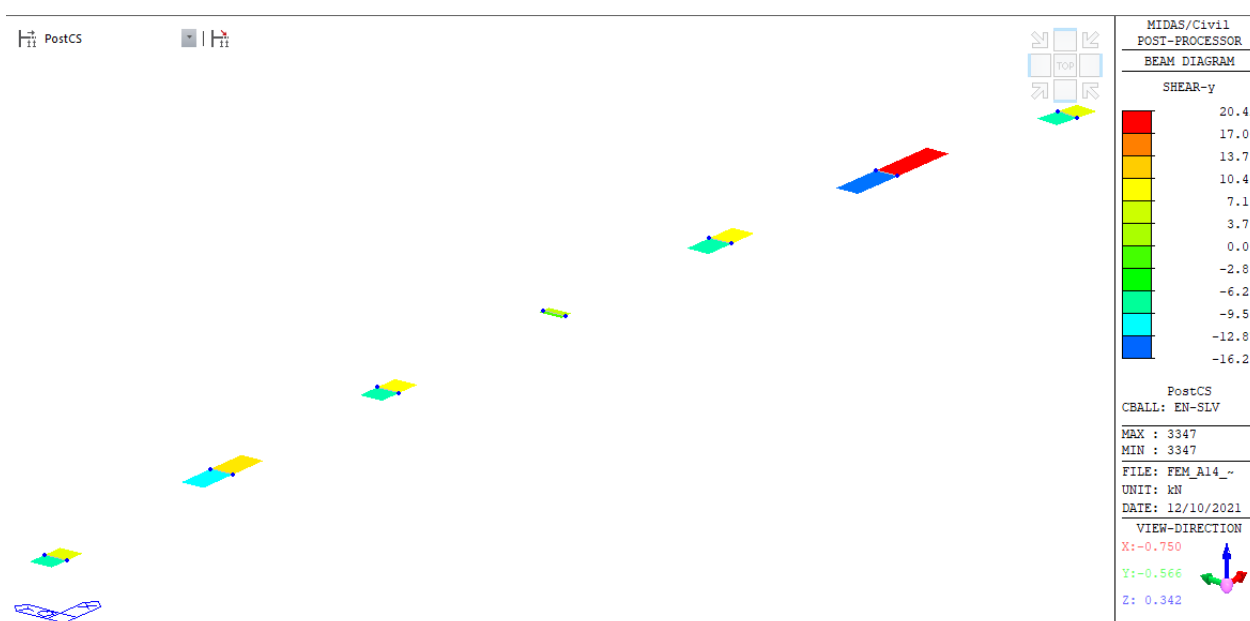


Figure 23 SLV Taglio

5. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALI

5.1 SLU – Presso-Tenso flessione

Si fa riferimento alle ipotesi di base riportate nel paragrafo 4.1.2.1.2.1 delle NT:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

Per quanto concerne i materiali si adotta il diagramma di calcolo tensione-deformazione “parabola-rettangolo” per il calcestruzzo, elastico-perfettamente plastico per l'acciaio.

La verifica di resistenza si conduce confrontando $M_{Rd}(N_{Ed})$ con M_{Ed} come indicato di seguito:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:

M_{Rd}	è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ,
N_{Ed}	è il valore di calcolo della compressione assiale (sforzo normale) dell'azione,
M_{Ed}	è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

5.2 SLU - Taglio

Si distingue tra elementi non armati a taglio (paragrafo 4.1.2.3.5.2 delle NT) ed elementi armati a taglio con staffe (paragrafo 4.1.2.3.5.1 delle NT).

Elementi non armati a taglio

La verifica di resistenza si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove:

V_{Rd}	è il valore di calcolo della resistenza a taglio,
V_{Ed}	è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = \{0.18 k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \sigma_{cp}\} b_w d \geq (u_{min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w d$$

Con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$u_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove:

d	è l'altezza utile della sezione (in mm),
ρ_1	è il rapporto geometrico di armatura longitudinale (≤ 0.02),
σ_{cp}	è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 f_{cd}$),
b_w	è la larghezza minima della sezione (in mm).

Elementi armati a taglio

La resistenza a taglio V_{Rd} per elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio è valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio.

Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo ed i puntoni d'anima inclinati.

L'inclinazione ϑ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i seguenti limiti:

$$1 \leq \text{ctg } \vartheta \leq 2.5.$$

La verifica di resistenza si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed},$$

dove:

V_{Ed}	è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.
----------	---

Con riferimento all'armatura trasversale (staffe), la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0.9 d A_{sw}/s f_{yd} \text{ctg } \vartheta.$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} \text{ctg } \vartheta (1 + \text{ctg}^2 \vartheta).$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rcd}, V_{Rsd}),$$

dove:

d	è l'altezza utile della sezione,
σ_{cp}	è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 f_{ck}$),
b_w	è la larghezza minima della sezione,
A_{sw}	è l'area dell'armatura trasversale,
s	è l'interasse tra due armature trasversali consecutive,
f'_{cd}	è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima,
α_c	è il coefficiente maggiorativo funzione di σ_{cp} .

5.3 SLE - Fessurazione

In ordine di severità si distinguono i seguenti stati limite:

- a) Stato limite di decompressione nel quale la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- b) Stato limite di formazione delle fessure nel quale la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_{ct} = f_{ctm}/1.2,$$

con f_{ctm} definito nel capitolo 11 delle NT;

- c) Stato limite di apertura delle fessure, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm},$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm},$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}.$$

Lo stato limite di fessurazione è fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Le combinazioni di riferimento sono:

- Combinazione Quasi Permanente,
- Combinazione Frequente.

Per quanto concerne gli stati limite di decompressione ("a" nell'elenco precedente) e di formazione delle fessure ("b"), le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata.

Per quanto concerne lo stato limite di apertura delle fessure il valore di calcolo di apertura w_d non deve superare i valori nominali w_1 , w_2 , w_3 secondo quanto riportato nella tabella precedente.

Il valore di calcolo è dato da:

$$w_d = 1.7 w_m,$$

dove:

w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure w_m è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ϵ_{sm} per la distanza tra le fessure Δ_{sm} :

$$w_m = \epsilon_{sm} \Delta_{sm}.$$

Per i valori di ϵ_{sm} e Δ_{sm} si fa riferimento a quanto indicato da comprovata letteratura tecnica.

Nella Circolare Applicativa del 2009, si fa riferimento al seguente calcolo per w_d :

$$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{smax}$$

dove:

Δ_{smax} rappresenta la distanza massima tra le fessure.

La deformazione unitaria delle barre, ϵ_{sm} , può essere calcolata con la seguente espressione:

$$\epsilon_{sm} = 1/E_s [\sigma_s - k_t f_{ctm}/\rho_{eff} (1 + \alpha_e \rho_{eff})] \geq 0.6 \sigma_s/E_s,$$

dove:

σ_s è la tensione nell'armatura tesa valutata considerando la sezione fessurata,

α_e è il rapporto E_s/E_{cm} ,

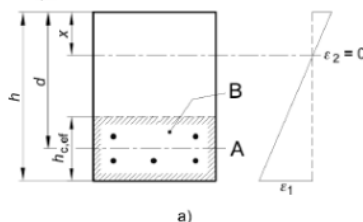
ρ_{eff} è pari ad $A_s/A_{c,eff}$,

$A_{c,eff}$ è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza $h_{c,ef}$, dove $h_{c,ef}$ è il valore minore tra $2.5(h-d)$, $(h-x)/3$ ed $h/2$ (come indicato in figura seguente); nel caso di elementi in trazione, in cui esistono due aree efficaci, l'una all'estradosso e l'altra all'intradosso, entrambe le aree vanno considerate separatamente,

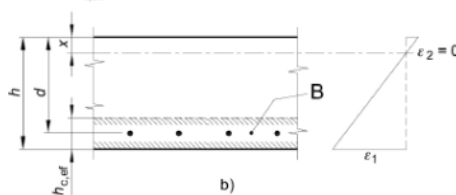
k_t è un fattore dipendente dalla durata del carico.

Legenda

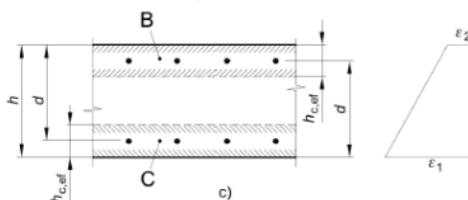
- a) Trave
 A Livello del baricentro dell'acciaio
 B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$



- b) Piastra
 B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$



- c) Elemento in trazione
 B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$
 C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$



Per quanto concerne la distanza massima Δ_{smax} , nel caso in cui l'armatura sia disposta con una spaziatura non superiore a $5(c + \phi/2)$, essa può essere valutata come segue:

$$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_3 k_4 \phi/\rho_{eff},$$

dove:

ϕ è il diametro delle barre (se nella sezione sono impiegate barre di diametro diverso si raccomanda l'uso di un opportuno diametro equivalente ϕ_{eq}),

c è il ricoprimento delle barre di armatura,

k_1 è funzione dell'aderenza delle armature,

k_2 è funzione dello stato sollecitativo di trazione o flessione,

k_3 assume il valore fisso di 3.4,

k_4 assume il valore fisso di 0.425.

Si ricapitolano per le diverse strutture in c.a. le aperture di fessurazione in funzione

	CSA		SCELT O	NTC18 - Tab 4.1.IV	
Elemento	Esp.	Condizioni ambientale NTC2018 - Tab 4.1.III	Classe scelta	COMB.	wk lim
					mm
Elevazioni Spalle, Pile	XA2	Aggressive	C32/40	FR	0.30
				QP	0.20

5.4 SLE – Tensionale

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} \quad \text{per combinazione caratteristica (rara),}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} \quad \text{per combinazione quasi permanente.}$$

La tensione massima per l'acciaio σ_s deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0.80 f_{yk} \quad \text{per combinazione caratteristica.}$$

Nel caso in esame si ottiene pertanto:

- Per le strutture con $f_{ck} = 32$ MPa da cui:

$$\sigma_c < 0.60 f_{ck} = 19.2 \text{ MPa} \quad \text{per combinazione caratteristica (rara),}$$

$$\sigma_c < 0.45 f_{ck} = 14.4 \text{ MPa} \quad \text{per combinazione quasi permanente.}$$

La tensione dell'acciaio deve rispettare il seguente limite: $\sigma_s < 0.80 f_{yk} = 360$ Mpa.

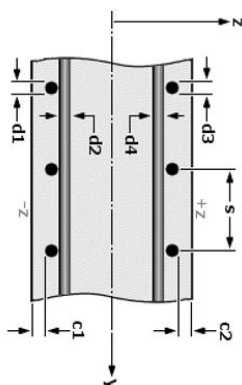
6. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche sono state condotte con il programma RCsec.

6.1 Disposizione delle armature

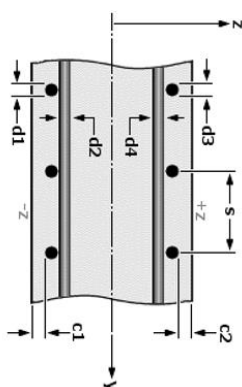
Si definiscono le posizioni delle armature in funzione dell'elemento da progettare rispetto al riferimento locale della "beam" del modello FEM "z" ed "y" ricordando che:

- per valori positivi di momento si progettano le armature Bottom;
- per valori negativi di momento si progettano le armature Top.



Per quanto riguarda l'elemento strutturale "PILA in c.a.", si definisce:

- "armatura flessionale principale" le armature verticali (d2, d4);
- "armatura di taglio" le armature quali staffe (d1 = d3)



Per quanto riguarda l'elemento strutturale "SPALLA in c.a." si definisce:

- "armatura flessionale principale" le armature verticali (d2, d4);
- "armatura di ripartizione" le armature orizzontali al piano stradale (d1, d3).

Per quanto riguarda copriferrì e la classe di calcestruzzo adottata si rinvia al capitolo.

6.2 Pulvino

Sono state estrapolate le sollecitazioni di verifica.

SLU

RIC	NODO_SL_COMB	Axial (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	Shear-z (kN)	Shear-y (kN)
FX_max	3343_SLU17(min)	2714	1529	-141.95	-1210	-7
FX_min	2239_SLU17(all)	-175	31	138.76	2	46
MY_max	3358_SLU3(max)	186	14681	47.22	1658	8
MY_min	3358_SLU24(min)	136	10220	-12.00	1346	-8
MZ_max	3343_SLU9(max)	1727	2431	806.47	-730	-1
MZ_min	3347_SLU9(min)	228	8930	-663.14	112	7
FY_max	3358_SLU3(max)	186	14681	47.22	1658	8
FY_min	3347_SLU15(min)	283	5034	19.58	-1407	-11
FZ_max	2253_SLU17(all)	52	39	210.16	24	166
FZ_min	2229_SLU17(all)	0	0	0.00	-43	-195
MX_max	2253_SLU12(all)	85	29	186.21	-22	147
MX_min	2229_SLU12(all)	0	0	0.00	-35	-191

SLV

RIC	NODO_SL_COMB	Axial (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)	Shear-z (kN)	Shear-y (kN)
FX_max	3343_SLV28(min)	1652	2048	-36.23	-463	-2
FX_min	2209_SLV30(all)	-111	14	48.85	0	10
MY_max	3358_SLV15(max)	139	-17717	190.02	-8079	-1
MY_min	3358_SLV14(min)	119	-18228	187.34	-8098	-2
MZ_max	3349_SLV8(max)	119	10020	841.07	1298	-3
MZ_min	3347_SLV5(min)	172	9549	-828.86	1134	12
FY_max	3358_SLV17(max)	141	26821	-186.17	6766	2
FY_min	3358_SLV14(min)	119	-18228	187.34	-8098	-2
FZ_max	2253_SLV16(all)	17	12	99.60	4	79
FZ_min	2229_SLV19(all)	0	0	0.00	-15	-97
MX_max	3347_SLV16(max)	118	-14969	-102.44	-7005	-9
MX_min	3347_SLV19(min)	189	23116	96.10	5660	13

Tabella 9 – Sollecitazioni di verifica

FR

RIC	NODO_SL_COMB	Axial (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
FX_max	3343_FR4(min)	1688	1176	-97.47
FX_min	3358_FR12	109	3891	0.59
MY_max	3358_FR3(max)	122	5408	22.95
MY_min	3341_FR5(min)	1320	1000	-126.48
MZ_max	3343_FR12	1256	1178	286.04
MZ_min	3347_FR12	133	3742	-232.93
FY_max	3358_FR15(max)	127	5196	4.86
FY_min	3347_FR4(min)	173	3647	61.12
FZ_max	3347_FR5(max)	140	5272	-90.69
FZ_min	3352_FR3(min)	160	3879	46.09
MX_max	3352_FR3(max)	128	5326	89.42
MX_min	3347_FR5(min)	175	3896	-137.67

CH

RIC	NODO_SL_COMB	Axial (kN)	Moment-y (kN*m)	Moment-z (kN*m)
FX_max	3343_CH17(min)	1971	1062	-107.48
FX_min	2239_CH17(all)	-135	23	99.00
MY_max	3358_CH18(max)	116	11386	52.37
MY_min	3358_CH13(min)	145	8183	-10.40
MZ_max	3343_CH9(max)	1256	1760	527.01
MZ_min	3347_CH9(min)	164	6216	-433.40
FY_max	3358_CH18(max)	116	11386	52.37
FY_min	3347_CH15(min)	205	3595	19.01
FZ_max	2253_CH17(all)	40	29	160.98
FZ_min	2229_CH18(all)	0	0	0.00
MX_max	2253_CH18(all)	67	22	141.29
MX_min	2229_CH12(all)	0	0	0.00

Tabella 10 – Sollecitazioni di verifica

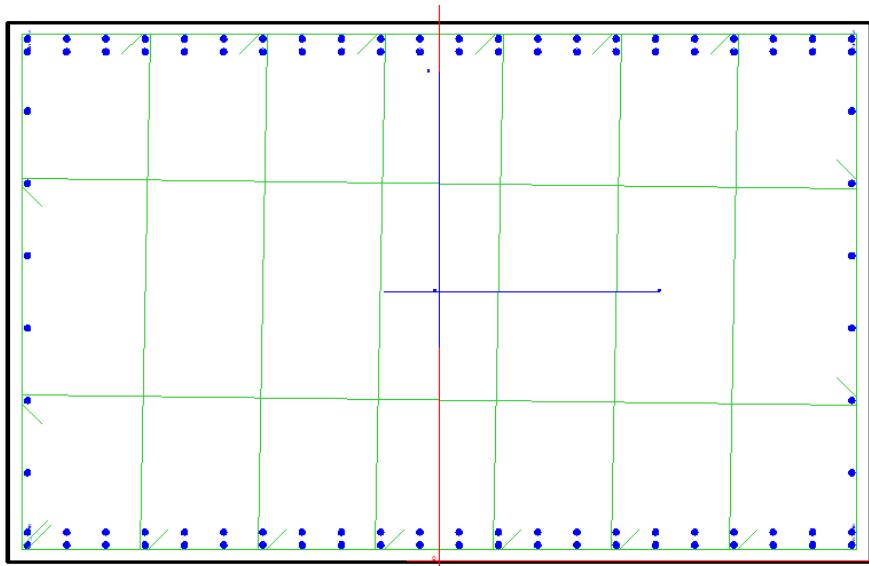
Le combinazioni FR si adottano anche per la verifica in QP.

Si riportano le verifiche condotte secondo il software Rc-sec

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.
NOME SEZIONE: PULVINO-TRAVE-V03

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

Riferimento alla sismicità: Comb. non sismiche



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
Resis. compr. di progetto fcd:	18.8	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	9.4	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	3.72	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	6.00		
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.2	MPa	
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.2	MPa	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.4	MPa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.0	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.3	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm²	
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00		
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50		
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Calcestruzzo: C32/40

N°vertice: X [cm] Y [cm]

1 -200.0 0.0

2	-200.0	250.0
3	200.0	250.0
4	200.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-191.0	7.6	30
2	-191.0	242.4	30
3	191.0	242.4	30
4	191.0	7.6	30
5	-191.0	236.4	30
6	-191.0	13.6	30
7	191.0	236.4	30
8	191.0	13.6	30

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

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

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°BarreØ
1	1	2	6 30
2	2	3	20 30
3	1	4	20 30
4	3	4	6 30
5	6	8	20 30
6	5	7	20 30

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 16 mm
Passo staffe e legature: 20.0 cm

Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:

N°Staffa	Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4
1	1	2	3	4

N° Legature: 8
Diam. Legature: 16

Indicazione Barre Longitudinali di estremità delle legature:

N°Legat.	Barra 1	Barra 2
1	32	52
2	26	46
3	29	49
4	17	37
5	20	40
6	23	43
7	10	59
8	13	56

Coordinate Barre generate di estremità delle legature:

N°Barra	X[cm]	Y[cm]
32	136.4	242.4
52	136.4	7.6
26	27.3	242.4
46	27.3	7.6
29	81.9	242.4
49	81.9	7.6

17	-136.4	242.4
37	-136.4	7.6
20	-81.9	242.4
40	-81.9	7.6
23	-27.3	242.4
43	-27.3	7.6
10	-191.0	74.7
59	191.0	74.7
13	-191.0	175.3
56	191.0	175.3

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	2714.00	1529.00	-141.95	-1210.00	-7.00
2	-175.00	31.00	138.76	2.00	46.00
3	186.00	14681.00	47.22	1658.00	8.00
4	136.00	10220.00	-12.00	1346.00	-8.00
5	1727.00	2431.00	806.47	-730.00	-1.00
6	228.00	8930.00	-663.14	112.00	7.00
7	186.00	14681.00	47.22	1658.00	8.00
8	283.00	5034.00	19.58	-1407.00	-11.00
9	52.00	39.00	210.16	24.00	166.00
10	0.00	0.10	0.00	-43.00	-195.00
11	85.00	29.00	186.21	-22.00	147.00
12	0.00	0.10	0.00	-35.00	-191.00
13	1652.00	2048.00	-36.23	-463.00	-2.00
14	-111.00	0.14	48.85	0.00	10.00
15	139.00	-17717.00	190.02	-8079.00	-1.00
16	119.00	-18228.00	187.34	-8098.00	-2.00
17	119.00	10020.00	841.07	1298.00	-3.00
18	172.00	9549.00	-828.86	1134.00	12.00
19	141.00	26821.00	-186.17	6766.00	2.00
20	119.00	-18228.00	187.34	-8098.00	-2.00
21	17.00	0.12	99.60	4.00	79.00
22	0.00	0.10	0.00	-15.00	-97.00
23	118.00	-14969.00	-102.44	-7005.00	-9.00
24	189.00	23116.00	96.10	5660.00	13.00

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

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

N°Comb.	N	MxMy	
1	1971.00	1062.00	-107.48
2	-135.00	23.00	99.00
3	116.00	11386.00	52.37

4	145.00	8183.00	-10.40
5	1256.00	1760.00	527.01
6	164.00	6216.00	-433.40
7	116.00	11386.00	52.37
8	205.00	3595.00	19.01
9	40.00	29.00	160.98
10	0.00	0.00	0.00

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

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

N°Comb.	N	MxMy
1	1688.00	1176.00 (40044.25)-97.47 (-3318.97)
2	109.00	3891.00 (17214.08)0.59 (2.61)
3	122.00	5408.00 (17126.34)22.95 (72.68)
4	1320.00	1000.00 (33761.01)-126.48 (-4270.09)
5	1256.00	1178.00 (24614.08)286.04 (5976.75)
6	133.00	3742.00 (16589.33)-232.93 (-1032.64)
7	127.00	5196.00 (17177.96)4.86 (16.07)
8	173.00	3647.00 (17173.83)61.12 (287.82)
9	140.00	5272.00 (17011.54)-90.69 (-292.64)
10	160.00	3879.00 (17181.94)46.09 (204.15)
11	128.00	5326.00 (16997.32)89.42 (285.37)
12	175.00	3896.00 (16947.52)-137.67 (-598.86)

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

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

N°Comb.	N	MxMy
1	1688.00	1176.00 (40044.25)-97.47 (-3318.97)
2	109.00	3891.00 (17214.08)0.59 (2.61)
3	122.00	5408.00 (17126.34)22.95 (72.68)
4	1320.00	1000.00 (33761.01)-126.48 (-4270.09)
5	1256.00	1178.00 (24614.08)286.04 (5976.75)
6	133.00	3742.00 (16589.33)-232.93 (-1032.64)
7	127.00	5196.00 (17177.96)4.86 (16.07)
8	173.00	3647.00 (17173.83)61.12 (287.82)
9	140.00	5272.00 (17011.54)-90.69 (-292.64)
10	160.00	3879.00 (17181.94)46.09 (204.15)
11	128.00	5326.00 (16997.32)89.42 (285.37)
12	175.00	3896.00 (16947.52)-137.67 (-598.86)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.1 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.5 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

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

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	2714.00	1529.00	-141.95	2713.76		35176.20	-3177.64	23.00 395.8(214.9)
2	N	-175.00	31.00	138.76	-174.99		10485.37	47449.88	341.78 565.5(214.9)
3	S	186.00	14681.00	47.22	185.78	32385.32	255.29	2.21	395.8(214.9)
4	S	136.00	10220.00	-12.00	136.20	32326.53	10.20	3.16	395.8(214.9)
5	S	1727.00	2431.00	806.47	1727.20		33756.27	11029.16	13.87 402.9(214.9)
6	S	228.00	8930.00	-663.14	228.07	32400.09	-2411.81	3.63	395.8(214.9)
7	S	186.00	14681.00	47.22	185.78	32385.32	255.29	2.21	395.8(214.9)
8	S	283.00	5034.00	19.58	283.12	32495.11	39.70	6.46	395.8(214.9)
9	N	52.00	39.00	210.16	52.01	9109.04	48214.51	229.56	565.5(214.9)
10	S	0.00	0.10	0.00	0.00	32171.92	0.00	999.00	395.8(214.9)
11	N	85.00	29.00	186.21	85.24	7545.23	48701.42	261.51	565.5(214.9)
12	S	0.00	0.10	0.00	0.00	32171.92	0.00	999.00	395.8(214.9)
13	S	1652.00	2048.00	-36.23	1652.12		34035.21	-478.47	16.62 395.8(214.9)
14	N	-111.00	14.00	48.85	-111.10		13333.98	46531.95	952.54 551.3(214.9)
15	S	139.00	-17717.00	190.02	139.08	-32328.72	333.21	1.82	395.8(214.9)
16	S	119.00	-18228.00	187.34	119.01	-32303.06	491.31	1.77	395.8(214.9)
17	S	119.00	10020.00	841.07	118.74	32272.69	2663.58	3.22	395.8(214.9)
18	S	172.00	9549.00	-828.86	172.17	32331.92	-2741.93	3.39	395.8(214.9)
19	S	141.00	26821.00	-186.17	140.94	32333.25	-283.41	1.21	395.8(214.9)
20	S	119.00	-18228.00	187.34	119.01	-32303.06	491.31	1.77	395.8(214.9)
21	N	17.00	12.00	99.60	16.77	5752.09	49004.42	491.83	572.6(214.9)
22	S	0.00	0.10	0.00	0.00	32171.92	0.00	999.00	395.8(214.9)
23	S	118.00	-14969.00	-102.44	118.06		-32310.64	-211.89	2.16 395.8(214.9)
24	S	189.00	23116.00	96.10	188.94	32392.53	90.87	1.40	395.8(214.9)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.003500	0.084	-200.02	50.0	0.00220	-191.0	242.4	-0.03817	191.0	7.6
2	0.003500	0.191	200.02	50.0	0.00306	191.0	242.4	-0.01482	-191.0	7.6
3	0.003500	0.063	200.02	50.0	0.00176	191.0	242.4	-0.05212	-191.0	7.6
4	0.003500	0.062	200.02	50.0	0.00173	191.0	242.4	-0.05280	-191.0	7.6
5	0.003500	0.122	200.02	50.0	0.00262	191.0	242.4	-0.02515	-191.0	7.6
6	0.003500	0.071	-200.02	50.0	0.00197	-191.0	242.4	-0.04550	191.0	7.6
7	0.003500	0.063	200.02	50.0	0.00176	191.0	242.4	-0.05212	-191.0	7.6
8	0.003500	0.063	200.02	50.0	0.00175	191.0	242.4	-0.05237	-191.0	7.6
9	0.003500	0.184	200.02	50.0	0.00304	191.0	242.4	-0.01553	-191.0	7.6
10	0.003500	0.062	-200.02	50.0	0.00172	-191.0	242.4	-0.05314	-191.0	7.6
11	0.003500	0.175	200.02	50.0	0.00302	191.0	242.4	-0.01652	-191.0	7.6

12	0.003500.062	-200.0250.0	0.00172	-191.0	242.4	-0.05314	-191.0	7.6
13	0.003500.068	-200.0250.0	0.00188	-191.0	242.4	-0.04805	191.0	7.6
14	0.003500.207	200.0250.0	0.00309	191.0	242.4	-0.01338	-191.0	7.6
15	0.003500.063	200.00.0	0.00176	191.0	7.6	-0.05203	-191.0	242.4
16	0.003500.064	200.00.0	0.00178	191.0	7.6	-0.05140	-191.0	242.4
17	0.003500.072	200.0250.0	0.00199	191.0	242.4	-0.04501	-191.0	7.6
18	0.003500.073	-200.0250.0	0.00200	-191.0	242.4	-0.04467	191.0	7.6
19	0.003500.063	-200.0250.0	0.00176	-191.0	242.4	-0.05216	191.0	7.6
20	0.003500.064	200.00.0	0.00178	191.0	7.6	-0.05140	-191.0	242.4
21	0.003500.163	200.0250.0	0.00299	191.0	242.4	-0.01798	-191.0	7.6
22	0.003500.062	-200.0250.0	0.00172	-191.0	242.4	-0.05314	-191.0	7.6
23	0.003500.063	-200.00.0	0.00175	-191.0	7.6	-0.05236	191.0	242.4
24	0.003500.063	200.0250.0	0.00175	191.0	242.4	-0.05243	-191.0	7.6

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000002359	0.000168117	-0.0390012190.084	0.700	
2	0.000040232	0.000010663	-0.0072121330.191	0.700	
3	0.000000175	0.000229170	-0.0538273080.063	0.700	
4	0.000000012	0.000232223	-0.0545582350.062	0.700	
5	0.000006489	0.000107745	-0.0247340690.122	0.700	
6	-0.000001810	0.000199236	-0.0466710070.071	0.700	
7	0.000000175	0.000229170	-0.0538273080.063	0.700	
8	0.000000048	0.000230391	-0.0541073390.063	0.700	
9	0.000042682	0.000009668	-0.0074533450.184	0.700	
10	0.000000000	0.000233664	-0.0549160910.062	0.700	
11	0.000045914	0.000008542	-0.0078183590.175	0.700	
12	0.000000000	0.000233664	-0.0549160910.062	0.700	
13	-0.000000368	0.000212090	-0.0495961100.068	0.700	
14	0.000035447	0.000012460	-0.0067044630.207	0.700	
15	0.000000208	-0.000228767	0.0034584830.063	0.700	
16	0.000000381	-0.000225862	0.0034237970.064	0.700	
17	0.000001991	0.000196918	-0.0461276920.072	0.700	
18	-0.000002052	0.000195416	-0.0457643340.073	0.700	
19	-0.000000185	0.000229319	-0.0538667670.063	0.700	
20	0.000000381	-0.000225862	0.0034237970.064	0.700	
21	0.000050531	0.000007097	-0.0083804930.163	0.700	
22	0.000000000	0.000233664	-0.0549160910.062	0.700	
23	-0.000000163	-0.000230189	0.0034674310.063	0.700	
24	0.000000110	0.000230560	-0.0541618150.063	0.700	

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 16 mm
Diam. Legature: 16 mm
Passo staffe e legature: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiezz. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
 La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna.
 I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse).
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione

Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	VwdDmed	bw	Ctg	AcwAst	A.Eff
1	S	1209.78	28454.9716755.65	240.7	399.3	2.5001.014	5.7 79.1(59.0)
2	S	44.9824796.38	12546.12367.2	231.3	2.500	1.0000.138.8(18.7)	
3	S	1658.01	28178.4017048.88	241.0	400.2	2.5001.001	7.8 80.4(60.2)
4	S	1346.00	28158.4417063.62	241.0	400.0	2.5001.001	6.3 80.4(60.3)
5	S	728.7427987.66	15843.06239.8	396.2	2.500	1.0093.575.0(54.9)	
6	S	111.9328110.41	16861.69240.8	399.5	2.500	1.0010.579.5(59.4)	
7	S	1658.01	28178.4017048.88	241.0	400.2	2.5001.001	7.8 80.4(60.2)
8	S	1407.00	28183.1617060.39	241.0	400.1	2.5001.002	6.6 80.4(60.3)
9	S	167.2025247.82	12706.88370.2	233.6	2.500	1.0000.539.0(18.9)	
10	S	43.0028137.17	17064.72241.0	400.0	2.500	1.0000.280.4(60.3)	
11	S	140.5025747.95	12881.56373.4	236.1	2.500	1.0000.439.2(19.1)	
12	S	35.0028137.17	17064.72241.0	400.0	2.500	1.0000.280.4(60.3)	
13	S	463.0028415.07	17028.72241.0	400.4	2.500	1.0092.280.3(60.1)	
14	S	9.4323906.54	12201.03360.6	227.1	2.500	1.0000.038.4(18.3)	
15	S	8079.00	28173.9317045.86	241.0	400.2	2.5001.001	38.1 80.3(60.2)
16	S	8097.99	28184.6517029.72	241.0	400.4	2.5001.001	38.2 80.3(60.2)
17	S	1297.90	28104.4616839.92	240.7	399.7	2.5001.001	6.1 79.4(59.3)
18	S	1133.81	28111.8316829.27	240.7	399.8	2.5001.001	5.4 79.4(59.3)
19	S	6766.00	28172.4317047.99	241.0	400.2	2.5001.001	31.9 80.3(60.2)
20	S	8097.99	28184.6517029.72	241.0	400.4	2.5001.001	38.2 80.3(60.2)
21	S	78.7926313.71	13092.61377.3	238.9	2.500	1.0000.239.4(19.3)	
22	S	15.0028137.17	17064.72241.0	400.0	2.500	1.0000.180.4(60.3)	
23	S	7005.00	28167.2717050.01	241.0	400.2	2.5001.001	33.0 80.4(60.2)
24	S	5660.01	28173.8117054.83	241.0	400.1	2.5001.001	26.7 80.4(60.3)

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

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

N°Comb	Ver	Sc maxXc max	Yc maxSs min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.44-200.0	250.0 -0.3	191.07.6	1168	42.4	
2	S	0.04200.0	250.0 -3.9	-191.0	7.6	12595	212.1
3	S	5.38200.0	250.0-151.3	-191.0	7.6	12098	311.0
4	S	3.85-200.0	250.0-107.8	191.07.612000		311.0	
5	S	0.97200.0	250.0 -9.3	-191.0	7.6	12977	318.1
6	S	3.21-200.0	250.0 -82.8	191.07.613468		311.0	
7	S	5.38200.0	250.0-151.3	-191.0	7.6	12098	311.0
8	S	1.71200.0	250.0 -45.4	-191.0	7.6	12118	311.0
9	S	0.08200.0	250.0 -1.3	-191.0	7.6	10519	169.6
10	S	0.00 0.0	0.0 0.0	0.00.0	---	---	

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

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
e1 Esito della verifica
e2 Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
k1 Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
kt = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2 = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3 = (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
k4 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]

Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.000000.00000	0.83330.0	61	0.00000 (0.00000)	4410.000 (990.00)	67431.60	-6824.43		
2	S	-0.000020.00000	0.83330.0	61	0.00001 (0.00001)	7120.008 (990.00)	2664.67	11469.67		
3	S	-0.000790.00000	0.92730.0	61	0.00045 (0.00045)	5750.261 (990.00)	17029.31	78.33		
4	S	-0.000560.00000	0.92830.0	61	0.00032 (0.00032)	5730.185 (990.00)	17123.18	-21.76		
5	S	-0.000050.00000	0.83330.0	61	0.00003 (0.00003)	5540.015 (990.00)	19271.07	5770.48		
6	S	-0.000430.00000	0.90430.0	61	0.00025 (0.00025)	6070.151 (990.00)	16446.65	-1146.71		
7	S	-0.000790.00000	0.92730.0	61	0.00045 (0.00045)	5750.261 (990.00)	17029.31	78.33		
8	S	-0.000240.00000	0.92630.0	61	0.00014 (0.00014)	5750.078 (990.00)	17378.95	91.90		
9	S	-0.000010.00000	0.83330.0	61	0.00000 (0.00000)	7340.003 (990.00)	4234.28	23504.62		
10	S	0.000000.00000	-----	----	----	-----0.000 (990.00)	0.00	0.00		

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.47-200.0	250.0	-1.0	191.07.6	7139	275.7		
2	S	1.83200.0	250.0	-50.7	-191.0	7.6	12000	311.0	
3	S	2.56200.0	250.0	-70.9	-191.0	7.6	12085	311.0	
4	S	0.41-200.0	250.0	-1.2	191.07.6	7984	275.7		
5	S	0.54200.0	250.0	-2.8	-191.0	7.6	9585268.6		
6	S	1.92-200.0	250.0	-49.2	191.07.6	13434	311.0		
7	S	2.45200.0	250.0	-68.0	-191.0	7.6	12000	311.0	
8	S	1.76200.0	250.0	-46.7	-191.0	7.6	12549	311.0	
9	S	2.54-200.0	250.0	-69.1	191.07.6	12565	311.0		
10	S	1.86200.0	250.0	-50.0	-191.0	7.6	12369	311.0	
11	S	2.56200.0	250.0	-70.0	-191.0	7.6	12549	311.0	
12	S	1.93-200.0	250.0	-50.4	191.07.6	13132	311.0		

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.000010.00000	0.83330.0	61	0.00000 (0.00000)	4280.001 (0.30)	40044.25	-3318.97		
2	S	-0.000260.00000	0.92830.0	61	0.00015 (0.00015)	5730.087 (0.30)	17214.08	2.61		
3	S	-0.000370.00000	0.92730.0	61	0.00021 (0.00021)	5750.122 (0.30)	17126.34	72.68		
4	S	-0.000010.00000	0.83330.0	61	0.00000 (0.00000)	4540.002 (0.30)	33761.01	-4270.09		
5	S	-0.000010.00000	0.83330.0	61	0.00001 (0.00001)	5110.004 (0.30)	24614.08	5976.75		
6	S	-0.000260.00000	0.90630.0	61	0.00015 (0.00015)	6070.090 (0.30)	16589.33	-1032.64		
7	S	-0.000350.00000	0.92830.0	61	0.00020 (0.00020)	5730.117 (0.30)	17177.96	16.07		
8	S	-0.000240.00000	0.92230.0	61	0.00014 (0.00014)	5870.082 (0.30)	17173.83	287.82		
9	S	-0.000360.00000	0.92230.0	61	0.00021 (0.00021)	5870.122 (0.30)	17011.54	-292.64		
10	S	-0.000260.00000	0.92430.0	61	0.00015 (0.00015)	5820.087 (0.30)	17181.94	204.15		
11	S	-0.000360.00000	0.92230.0	61	0.00021 (0.00021)	5870.123 (0.30)	16997.32	285.37		
12	S	-0.000260.00000	0.91530.0	61	0.00015 (0.00015)	6020.091 (0.30)	16947.52	-598.86		

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.47-200.0	250.0	-1.0	191.07.6	7139	275.7		
2	S	1.83200.0	250.0	-50.7	-191.0	7.6	12000	311.0	
3	S	2.56200.0	250.0	-70.9	-191.0	7.6	12085	311.0	
4	S	0.41-200.0	250.0	-1.2	191.07.6	7984	275.7		
5	S	0.54200.0	250.0	-2.8	-191.0	7.6	9585268.6		

6	S	1.92-200.0	250.0 -49.2	191.07.613434	311.0	
7	S	2.45200.0	250.0 -68.0	-191.0 7.6	12000	311.0
8	S	1.76200.0	250.0 -46.7	-191.0 7.6	12549	311.0
9	S	2.54-200.0	250.0 -69.1	191.07.612565	311.0	
10	S	1.86200.0	250.0 -50.0	-191.0 7.6	12369	311.0
11	S	2.56200.0	250.0 -70.0	-191.0 7.6	12549	311.0
12	S	1.93-200.0	250.0 -50.4	191.07.613132	311.0	

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.000010.000000	0.83330.0	61	0.00000 (0.00000)	4280.001 (0.20)	40044.25	-3318.97		
2	S	-0.000260.000000	0.92830.0	61	0.00015 (0.00015)	5730.087 (0.20)	17214.08	2.61		
3	S	-0.000370.000000	0.92730.0	61	0.00021 (0.00021)	5750.122 (0.20)	17126.34	72.68		
4	S	-0.000010.000000	0.83330.0	61	0.00000 (0.00000)	4540.002 (0.20)	33761.01	-4270.09		
5	S	-0.000010.000000	0.83330.0	61	0.00001 (0.00001)	5110.004 (0.20)	24614.08	5976.75		
6	S	-0.000260.000000	0.90630.0	61	0.00015 (0.00015)	6070.090 (0.20)	16589.33	-1032.64		
7	S	-0.000350.000000	0.92830.0	61	0.00020 (0.00020)	5730.117 (0.20)	17177.96	16.07		
8	S	-0.000240.000000	0.92230.0	61	0.00014 (0.00014)	5870.082 (0.20)	17173.83	287.82		
9	S	-0.000360.000000	0.92230.0	61	0.00021 (0.00021)	5870.122 (0.20)	17011.54	-292.64		
10	S	-0.000260.000000	0.92430.0	61	0.00015 (0.00015)	5820.087 (0.20)	17181.94	204.15		
11	S	-0.000360.000000	0.92230.0	61	0.00021 (0.00021)	5870.123 (0.20)	16997.32	285.37		
12	S	-0.000260.000000	0.91530.0	61	0.00015 (0.00015)	6020.091 (0.20)	16947.52	-598.86		

6.3 Pila

Armature di flessione e taglio

Sono state estrapolate le sollecitazioni di verifica.

SLR

N.	RIC	NODO_SL_COMB	Axial (kN)	Moment-z (kN*m)	Moment-y (kN*m)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)
1	FX_max	4160_J[2182]_SLU16(min)	20711	-9769	-867	770	-15
2	FX_min	3338_J[2212]_SLV13(min)	49	-18950	639	-1946	-558
3	MY_max	3327_I[2183]_SLV20(max)	3751	30715	8763	2480	435
4	MY_min	4160_J[2182]_SLV20(min)	19478	-33131	8649	2753	-436
5	MZ_max	3339_I[2193]_SLV5(max)	7542	7258	35969	566	1644
6	MZ_min	3339_J[2193]_SLV10(min)	13623	-9933	-35459	-904	-1622
7	FY_max	4160_I[3058]_SLV20(max)	18623	-22876	7360	2757	-431
8	FY_min	3327_I[2183]_SLV15(min)	18314	-33114	-8752	-2758	-435
9	FZ_max	3339_I[2193]_SLV6(max)	12476	-8765	36451	-820	1727
10	FZ_min	4168_I[3066]_SLV6(min)	8401	4413	24482	-521	-1724
11	MX_max	3339_J[2193]_SLV6(max)	12476	-8765	36451	-820	1727
12	MX_min	4168_J[2192]_SLV9(min)	12519	-8959	-35948	817	1429

Tabella 11 – Sollecitazioni di verifica

SLE-FR

RIC	NODO_SL_COMB	Axial (kN)	Moment-z (kN*m)	Moment-y (kN*m)
FX_max	3327_I[2183]_FR3(min)	12186	-1398	-281
FX_min	4169_J[2213]_FR22	5767	1288	-201
MY_max	3326_I[2232]_FR15(max)	6689	3466	-2
MY_min	4160_J[2182]_FR15(min)	11261	-2829	-106
MZ_max	3339_I[2193]_FR6(max)	10341	-1342	4566
MZ_min	3339_J[2193]_FR7(min)	11574	-1446	-3884
FY_max	4168_J[2192]_FR19(max)	10733	-2620	-3638
FY_min	3339_J[2193]_FR6(min)	11887	-1696	4032
FZ_max	3339_I[2193]_FR12	10278	-1367	5386
FZ_min	3338_I[2212]_FR12	5946	2059	553
MX_max	3339_J[2193]_FR12	10278	-1367	5386
MX_min	4168_J[2192]_FR13	10245	-1279	-4136

SLE-CH

RIC	NODO_SL_COMB	Axial (kN)	Moment-z (kN*m)	Moment-y (kN*m)
FX_max	4160_J[2182]_CH18(min)	16022	-9959	-720
FX_min	4161_J[2233]_CH13(max)	3638	-3540	4
MY_max	3326_I[2232]_CH18(max)	8313	9202	27
MY_min	4160_J[2182]_CH18(min)	16022	-9959	-720
MZ_max	3339_I[2193]_CH18(max)	8835	5182	5686
MZ_min	3327_I[2183]_CH17(min)	12444	3236	-633
FY_max	4160_J[2182]_CH18(max)	12758	-9325	236
FY_min	3339_J[2193]_CH15(min)	12994	-1803	-1709
FZ_max	3339_I[2193]_CH9(max)	9748	2377	9952
FZ_min	3338_I[2212]_CH9(min)	8268	4885	990
MX_max	3339_J[2193]_CH9(max)	9748	2377	9952
MX_min	3339_J[2193]_CH10(min)	10042	2631	-5472

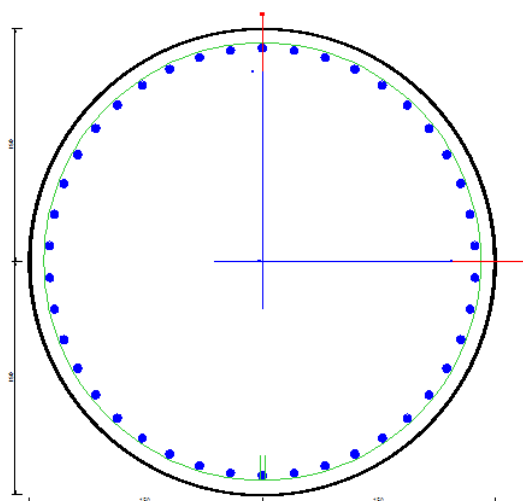
Tabella 12 – Sollecitazioni di verifica

Le combinazioni FR si adottano anche per la verifica in QP.

Si sono utilizzate per il primo strato di armature n.3 Ø30 per i quali, secondo la formula di Eurocodice EN19928.9.1 (8.14) otteniamo un diametro equivalente pari a 42mm. Si riporta la verifica con il programma RCsec.

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

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



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:		c32/40	
Resis. compr. di progetto fcd:	15.1	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.6	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31915.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.70	MPa	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	16.0	MPa	
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	16.0	MPa	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	12.0	MPa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	
ACCIAIO - Tipo:		B450C	
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.0	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.3	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm²	
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Calcestruzzo: c32/40

Raggio circ.: 150.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	137.4	42	52.0

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 16 mm
Passo staffe: 25.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	20711.00	-9769.00	-867.00	770.00	0.00
2	49.00-18950.00	639.00-1946.00	0.00		
3	3751.00	30715.00	8763.00	2480.00	0.00
4	19478.00	-33131.00	8649.00	2753.00	0.00
5	7542.00	7258.00	35969.00	566.00	0.00
6	13623.00	-9933.00	-35459.00	-904.00	0.00
7	18623.00	-22876.00	7360.00	2757.00	0.00
8	18314.00	-33114.00	-8752.00	-2758.00	0.00
9	12476.00	-8765.00	36451.00	-820.00	0.00
10	8401.00	4413.00	24482.00	-521.00	0.00
11	12476.00	-8765.00	36451.00	-820.00	0.00
12	12519.00	-8959.00	-35948.00	817.00	0.00

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

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

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy	
1	16022.00	-9959.00	-720.00
2	3638.00	-3540.00	4.00
3	8313.00	9202.00	27.00
4	16022.00	-9959.00	-720.00
5	8835.00	5182.00	5686.00
6	12444.00	3236.00	-633.00
7	12758.00	-9325.00	236.00
8	12994.00	-1803.00	-1709.00
9	9748.00	2377.00	9952.00
10	8268.00	4885.00	990.00
11	9748.00	2377.00	9952.00
12	10042.00	2631.00	-5472.00

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

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

N°Comb.	N	MxMy	
1	12186.00	-1398.00 (3282.13)-281.00 (-512.20)	
2	5767.00	1288.00 (-2031.14)-201.00 (-408.26)	
3	6689.00	3466.00 (47541.05)-2.00 (-27.43)	
4	11261.00	-2829.00 (-3551.49)-106.00 (-133.07)	
5	10341.00	-1342.00 (-27306.92)4566.00 (92908.65)	
6	11574.00	-1446.00 (-1522.60)-3884.00 (-4089.74)	
7	10733.00	-2620.00 (-1006333.86)-3638.00 (-1397344.49)	
8	11887.00	-1696.00 (-1716.85)4032.00 (4081.56)	
9	10278.00	-1367.00 (-10012.01)5386.00 (39447.47)	
10	5946.00	2059.00 (4217.60)553.00 (1132.75)	
11	10278.00	-1367.00 (-10012.01)5386.00 (39447.47)	
12	10245.00	-1279.00 (-164554.94)-4136.00 (-532133.89)	

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

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

N°Comb.	N	MxMy	
1	12186.00	-1398.00 (3282.13)-281.00 (-512.20)	
2	5767.00	1288.00 (-2031.14)-201.00 (-408.26)	
3	6689.00	3466.00 (47541.05)-2.00 (-27.43)	
4	11261.00	-2829.00 (-3551.49)-106.00 (-133.07)	
5	10341.00	-1342.00 (-27306.92)4566.00 (92908.65)	
6	11574.00	-1446.00 (-1522.60)-3884.00 (-4089.74)	
7	10733.00	-2620.00 (-1006333.86)-3638.00 (-1397344.49)	
8	11887.00	-1696.00 (-1716.85)4032.00 (4081.56)	
9	10278.00	-1367.00 (-10012.01)5386.00 (39447.47)	
10	5946.00	2059.00 (4217.60)553.00 (1132.75)	
11	10278.00	-1367.00 (-10012.01)5386.00 (39447.47)	
12	10245.00	-1279.00 (-164554.94)-4136.00 (-532133.89)	

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	10.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	15.3	cm
Copriferro netto minimo staffe:	8.4	cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N° Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	20711.00	-9769.00	-867.00	20711.04		-53700.36	-4787.815.50	890.6(212.1)
2	S	49.00	-18950.00	639.00	49.04	-40251.27	1358.81	2.12890.6(212.1)	
3	S	3751.00	30715.00	8763.00	3750.82		41659.78	11836.341.36	890.6(212.1)
4	S	19478.00	-33131.00	8649.00	19477.96		-51590.17	13461.181.56	890.6(212.1)
5	S	7542.00	7258.00	35969.00	7541.99		9163.79	45204.411.26	890.6(212.1)
6	S	13623.00	-9933.00	-35459.00	13623.04		-13495.80	-48269.621.36	890.6(212.1)
7	S	18623.00	-22876.00	7360.00	18623.01		-50336.12	16214.502.20	890.6(212.1)
8	S	18314.00	-33114.00	-8752.00	18314.07		-50997.72	-13427.171.54	890.6(212.1)
9	S	12476.00	-8765.00	36451.00	12476.06		-11551.02	48019.791.32	890.6(212.1)
10	S	8401.00	4413.00	24482.00	8400.81		8333.40	45973.911.88	890.6(212.1)
11	S	12476.00	-8765.00	36451.00	12476.06		-11551.02	48019.791.32	890.6(212.1)
12	S	12519.00	-8959.00	-35948.00	12519.01		-11956.93	-47951.191.33	890.6(212.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

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

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-13.3	-147.1	0.00310	-20.5	-135.9	-0.00550	20.5	135.9
2	0.00350	5.1	148.2	0.00287	0.0	-137.4	-0.01083	0.0	137.4
3	0.00350	41.2	150.0	0.00293	40.5	131.3	-0.00943	-40.5	-131.3
4	0.00350	37.9	-149.9	0.00309	40.5	-131.3	-0.00570	-40.5	131.3
5	0.00350	147.0	-42.3	0.00298	134.0	30.6	-0.00828	-134.0	-30.6
6	0.00350	-144.4	-52.3	0.00304	-134.0	-30.6	-0.00680	134.0	30.6
7	0.00350	45.9	-87.7	0.00309	40.5	-131.3	-0.00586	-40.5	131.3
8	0.00350	-38.3	-58.2	0.00308	-40.5	-131.3	-0.00590	40.5	131.3
9	0.00350	145.8	-36.9	0.00304	134.0	-30.6	-0.00705	-134.0	30.6
10	0.00350	147.6	144.9	0.00299	134.0	30.6	-0.00804	-134.0	-30.6
11	0.00350	145.8	-36.9	0.00304	134.0	-30.6	-0.00705	-134.0	30.6
12	0.00350	-145.5	-44.3	0.00304	-134.0	-30.6	-0.00704	134.0	30.6

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000002770	-0.000031207	-0.001199492	----	----
2	0.000001681	-0.000049851	-0.003981861	----	----
3	0.000012348	0.000043280	-0.003251083	----	----
4	0.000008091	-0.000030995	-0.001305008	----	----
5	0.000040176	0.000008107	-0.002647907	----	----
6	-0.000034514	-0.000009668	-0.001876347	----	----
7	0.000009971	-0.000030992	-0.001383416	----	----
8	-0.000008361	-0.000031634	-0.001408056	----	----
9	0.000035697	-0.000008584	-0.002007179	----	----
10	0.000039519	0.000007124	-0.002523412	----	----
11	0.000035697	-0.000008584	-0.002007179	----	----
12	-0.000035592	-0.000008870	-0.002002103	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 16 mm
Passo staffe: 25.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
La resistenza dei pilastri è calcolata assumendo il valore di z (coppia interna))
I pesi della media sono le lunghezze delle strisce. (Sono escluse le strisce totalmente non compresse).
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura,proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd d z	bw	Ctg	AcwAst	A.Eff
1	S	766.9917695.92	3270.02243.5	207.4274.4	2.500	1.1943.816.1(0.0)	
2	S	1944.89	14971.113632.61	252.2	230.7249.1	2.5001.000	8.6 16.1(0.0)
3	S	2384.84	15581.213557.63	250.1	226.0255.8	2.5001.035	10.8 16.1(0.0)
4	S	2663.73	17570.403286.91	243.9	208.7273.5	2.5001.182	13.0 16.1(0.0)
5	S	111.9516169.81	3484.48248.1	221.4262.0	2.500	1.0710.516.1(0.0)	
6	S	243.8517001.51	3374.64245.2	214.2270.4	2.500	1.1281.216.1(0.0)	
7	S	2624.51	17513.173294.45	243.9	209.4273.6	2.5001.174	12.8 16.1(0.0)
8	S	2666.44	17488.963300.18	243.9	209.6273.6	2.5001.172	13.0 16.1(0.0)
9	S	191.7116861.31	3391.01245.7	215.5269.1	2.500	1.1170.916.1(0.0)	
10	S	92.4216302.68	3469.69247.6	220.3263.5	2.500	1.0790.416.1(0.0)	
11	S	191.7116861.31	3391.01245.7	215.5269.1	2.500	1.1170.916.1(0.0)	
12	S	197.5716864.52	3390.92245.7	215.5269.1	2.500	1.1170.916.1(0.0)	

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

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

As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc maxXc max	Yc maxSs min	Xs min Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.88-10.8	0.0 -13.7	0.0137.4 1910	84.8	
2	S	1.63 0.2	0.0 -13.6	0.0137.4 5300	190.8	
3	S	4.23 0.4	0.0 -42.9	0.0-137.46184	190.8	
4	S	4.88-10.8	0.0 -13.7	0.0137.4 1910	84.8	
5	S	3.56110.9	0.0 -24.3	-107.4 -85.7	4453169.6	
6	S	2.43-28.8	0.0 9.2	20.5-135.9	----	
7	S	4.40 3.8	0.0 -20.3	0.0137.4 3096	127.2	
8	S	2.26-103.2	0.0 13.4	93.5100.7	----	
9	S	4.71145.9	0.0 -44.2	-134.0 -30.6	5825190.8	
10	S	2.4629.8	0.0 -6.1	-20.5-135.91696	84.8	
11	S	4.71145.9	0.0 -44.2	-134.0 -30.6	5825190.8	
12	S	2.99-135.2	0.0 -7.5	127.9-50.21720	84.8	

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

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.000090.00000	0.83352.0	100	0.00004 (0.00004)	6720.028 (990.00)	-28199.69	-2038.74		
2	S	-0.000080.00000	0.83452.0	100	0.00004 (0.00004)	7490.031 (990.00)	-16449.21	18.59		
3	S	-0.000240.00000	0.83352.0	100	0.00013 (0.00013)	8170.105 (990.00)	15089.56	44.27		
4	S	-0.000090.00000	0.83352.0	100	0.00004 (0.00004)	6720.028 (990.00)	-28199.69	-2038.74		
5	S	-0.000140.00000	0.83352.0	100	0.00007 (0.00007)	7260.053 (990.00)	12142.91	13323.93		
6	S	-0.00099-0.00040	----	----	----	0.000 (990.00)	3602.88	-704.77		
7	S	-0.000120.00000	0.83352.0	100	0.00006 (0.00006)	6980.043 (990.00)	-21822.95	552.30		
8	S	-0.00095-0.00051	----	----	----	0.000 (990.00)	-2156.30	-2043.88		
9	S	-0.000250.00000	0.83352.0	100	0.00013 (0.00013)	7890.105 (990.00)	3624.36	15174.44		
10	S	-0.000040.00000	0.83352.0	100	0.00002 (0.00002)	6340.012 (990.00)	29716.69	6022.42		
11	S	-0.000250.00000	0.83352.0	100	0.00013 (0.00013)	7890.105 (990.00)	3624.36	15174.44		
12	S	-0.000050.00000	0.83352.0	100	0.00002 (0.00002)	6390.014 (990.00)	13053.48	-27148.85		

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

N°Comb	Ver	Sc maxXc max	Yc maxSs min	Xs min Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.86-29.6	0.0 16.1	20.5135.9	----	
2	S	1.06-23.1	0.0 5.2	20.5-135.9	----	
3	S	1.80-0.1	0.0 -2.0	0.0-137.4 898	21.2	
4	S	2.15-5.6	0.0 9.0	0.0137.4	----	
5	S	2.60143.9	0.0 -0.3	-134.0 30.6	81521.2	
6	S	2.56-140.6	0.0 4.3	127.950.2	----	
7	S	2.56-121.7	0.0 1.5	107.485.7	0 0.0	
8	S	2.67138.3	0.0 4.0	-127.9 50.2	-----	
9	S	2.84145.4	0.0 -4.1	-134.0 30.6	80821.2	

10	S	1.3238.9	0.0	2.2	-40.5-131.3	---	---
11	S	2.84145.4	0.0	-4.1	-134.0	30.6	80821.2
12	S	2.46-143.3	0.0	1.3	127.950.2	0	0.0

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00044-0.00021	---	---	---	---	0.000 (0.30)	3282.13-512.20	
2	S	-0.00081-0.00056	---	---	---	---	0.000 (0.30)	-2031.14	-408.26
3	S	-0.000020.000000.78552.0	100	0.00001 (0.00001)	9270.005 (0.30)	47541.05		-27.43	
4	S	-0.00088-0.00038	---	---	---	---	0.000 (0.30)	-3551.49	-133.07
5	S	-0.000010.000000.56652.0	100	0.00000 (0.00000)	7240.001 (0.30)	-27306.92		92908.65	
6	S	-0.00102-0.00028	---	---	---	---	0.000 (0.30)	-1522.60	-4089.74
7	S	0.000000.000000.56652.0	100	0.00000 (0.00000)	00.002 (0.30)	-1006333.86		-1397344.49	
8	S	-0.00106-0.00028	---	---	---	---	0.000 (0.30)	-1716.85	4081.56
9	S	-0.000030.000000.83352.0	100	0.00001 (0.00001)	9010.011 (0.30)	-10012.01		39447.47	
10	S	-0.00052-0.00014	---	---	---	---	0.000 (0.30)	4217.601132.75	
11	S	-0.000030.000000.83352.0	100	0.00001 (0.00001)	9010.011 (0.30)	-10012.01		39447.47	
12	S	0.000000.000000.83352.0	100	0.00001 (0.00001)	00.002 (0.30)	-164554.94		-532133.89	

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

N°Comb	Ver	Sc maxXc max	Yc maxSs min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.86-29.6	0.0	16.1	20.5135.9	----	----
2	S	1.06-23.1	0.0	5.2	20.5-135.9	----	----
3	S	1.80-0.1	0.0	-2.0	0.0-137.4	898	21.2
4	S	2.15-5.6	0.0	9.0	0.0137.4	----	----
5	S	2.60143.9	0.0	-0.3	-134.0	30.6	81521.2
6	S	2.56-140.6	0.0	4.3	127.950.2	----	----
7	S	2.56-121.7	0.0	1.5	107.485.7	0	0.0
8	S	2.67138.3	0.0	4.0	-127.9	50.2	-----
9	S	2.84145.4	0.0	-4.1	-134.0	30.6	80821.2
10	S	1.3238.9	0.0	2.2	-40.5-131.3	----	----
11	S	2.84145.4	0.0	-4.1	-134.0	30.6	80821.2
12	S	2.46-143.3	0.0	1.3	127.950.2	0	0.0

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00044-0.00021	---	---	---	---	0.000 (0.20)	3282.13-512.20	
2	S	-0.00081-0.00056	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-2031.14	-408.26
3	S	-0.000020.000000.78552.0	100	0.00001 (0.00001)	9270.005 (0.20)	47541.05		-27.43	
4	S	-0.00088-0.00038	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-3551.49	-133.07
5	S	-0.000010.000000.56652.0	100	0.00000 (0.00000)	7240.001 (0.20)	-27306.92		92908.65	
6	S	-0.00102-0.00028	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-1522.60	-4089.74
7	S	0.000000.000000.56652.0	100	0.00000 (0.00000)	00.002 (0.20)	-1006333.86		-1397344.49	
8	S	-0.00106-0.00028	---	---	---	---	0.000 (0.20)	-1716.85	4081.56
9	S	-0.000030.000000.83352.0	100	0.00001 (0.00001)	9010.011 (0.20)	-10012.01		39447.47	
10	S	-0.00052-0.00014	---	---	---	---	0.000 (0.20)	4217.601132.75	
11	S	-0.000030.000000.83352.0	100	0.00001 (0.00001)	9010.011 (0.20)	-10012.01		39447.47	
12	S	0.000000.000000.83352.0	100	0.00001 (0.00001)	00.002 (0.20)	-164554.94		-532133.89	

Osservazioni sulle sollecitazioni di momento.

Le sollecitazioni gravanti sulla pila derivano dalla massa eccitata dal moto sismico. Da un'analisi modale
avve

6.4 Spalla

Data la carpenteria della struttura monolitica, il dimensionamento delle armature di flessione e di taglio verrà sviluppando considerando un modello semplificato STR-TIE. Secondo tale comportamento, all'interno della spalla si creano delle zone compresse (tratteggiate) ed altre tese (linea continua) come sviluppato sinteticamente nella figura in basso.

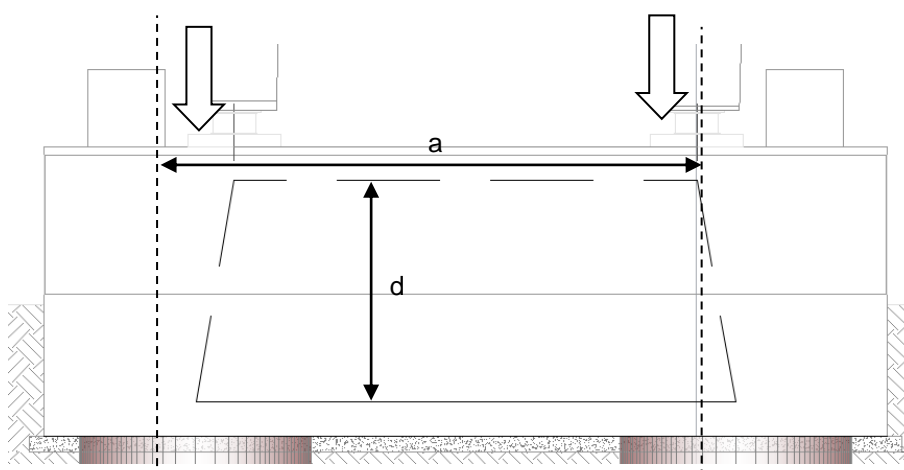


Figura 6.1 – Modello STR- TIE

Per ciascuna combinazione si è considerato agente in appoggio la compressione massima ambo i lati.

SLR

RIC	NODO_SL_COMB	FZ (kN)
FZ_max	2204_SLU1(max)	4251

SLE-FR (QP)

RIC	NODO_SL_COMB	FZ (kN)
FZ_max	2204_FR5(max)	2278

SLE-CH

RIC	NODO_SL_COMB	FZ (kN)
FZ_max	2204_CH1(max)	3044

Tabella 13 – Sollecitazioni di verifica

Altezza della spalla	H	m	3.75
Altezza utile della spalla	d	m	3.38
Riduzione dell'altezza utile della spalla per il metodo	d'	m	2.87
Angolo del puntone compresso	Ø	°	80.00
Diametro armatura	Ø	cm	2.20
Larghezza della spalla	B	m	3.60
Passo delle armature	sp	m	0.20
Numero di armature	n	-	18.00
Area totale di acciaio	As	cmq	68.39
Tensione limite armatura in resistenza	f _{yd}	MPa	391.30
Massima resistenza ultima	R	kN	2676.10
Massima azione di compressione SLR	Fz	kN	4251
Larghezza complessiva dei baggioli	a	m	7.20
Distanza tra i baggioli e l'asse di compressione dei pali	v	m	0.00
Trazione nell'armatura inferiore	Td	kN	1333.6
Massima resistenza ultima	R	kN	2676.1
Tasso di sfruttamento dell'armatura	IS	-	0.50
Massima azione di compressione SLE-CH	Fz	kN	3044
Larghezza complessiva dei baggioli	a	m	7.20
Distanza tra i baggioli e l'asse di compressione dei pali	v	m	0.00
Trazione nell'armatura inferiore	Td	kN	954.98
Tensione nell'armatura scelta	f	MPa	140.00
Tensione limite	f _d	MPa	360.00
Tasso di sfruttamento dell'armatura	IS	-	0.39
Massima azione di compressione SLE-FR	Fz	kN	2278
Larghezza complessiva dei baggioli	a	m	7.20
Distanza tra i baggioli e l'asse di compressione dei pali	v	m	0.00
Trazione nell'armatura inferiore	Td	kN	714.67
Tensione nell'armatura scelta	f	MPa	105.00
Condizione di progetto armatura			aggressive - w2
Tensione limite	f	MPa	200.00
Tasso di sfruttamento dell'armatura	IS	-	0.53
Massima azione di compressione SLE-QP	Fz	kN	2278
Larghezza complessiva dei baggioli	a	m	7.20
Distanza tra i baggioli e l'asse di compressione dei pali	v	m	0.00
Trazione nell'armatura inferiore	Td	kN	714.67
Tensione nell'armatura scelta	f	MPa	105.00
Condizione di progetto armatura			aggressive - w1
Tensione limite	f	MPa	160.00
Tasso di sfruttamento dell'armatura	IS	-	0.66

Le verifiche sono soddisfatte.

Considerando l'armatura minima da ritiro per le altre superfici della spalla

Armatura minima per effetti da ritiro:

Rapporto di fessurazione a breve termine
Coefficiente k (k = 1.0 per h ≤ 300mm; k = 0.65 per h ≥ 800mm)
Coeff. k_c (Pura trazione=1, altrimenti vedi §7.3.2 (2) UNIEN1992-1-1-2015)
Area di calcolo del calcestruzzo tesa (si assume trazione pura)
Area minima di armatura per lato richiesta per effetti da ritiro

$$\rho_{crit} = f_{ctm} / f_{yk} \quad 3.43E-03$$

$$k \quad 0.65$$

$$k_c \quad 1.00$$

$$A_{ct} \quad \text{cm}^2 \quad 135000.00$$

$$A_{s,min} = k \cdot k_c \cdot (f_{ctm} / f_{yk}) \cdot A_{ct} / 2 \quad \text{cm}^2 \quad 150.63$$

	Area	Ø	n
	[mm ² /m]	[mm]	[-]
Contorno	11058.4	16	55
Inferiore	6842.4	22	18
Totale	17900.8		
Richiesta	15927.9		
FS > 1: ok	1.12		

6.4.1 Armature di taglio

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Base della sezione trasversale	B=	3600 mm
Altezza della sezione trasversale	H=	3750 mm
Diametro armatura a flessione superiore	Ø1=	12 mm
Numero di barre superiori	N1=	4 -
Area armatura superiore	As1=	452 mm ²
Copriferro netto barre superiori	c1,netto=	45 mm
Copriferro di calcolo barre superiori	c1=	63 mm
Diametro armatura a flessione inferiore	Ø2=	0 mm
Numero di barre inferiori	N2=	4 -
Area armatura inferiore	As2=	0 mm ²
Copriferro netto barre inferiori	c2,netto=	0 mm
Copriferro di calcolo barre inferiori	c2=	12 mm
Altezza utile	d=	3687 mm
Braccio della coppia interna	z=	3318 mm

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Resistenza a compressione cilindrica del cls	f _{ck} =	32.0 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza del cls	Y _c =	1.5 -
Coefficiente di riduzione	α _{cc} =	0.85 -
Resistenza a compressione di progetto del cls	f _{cd} =	18.13 N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio	f _{yk} =	450 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza dell'acciaio	Y _s =	1.15 -
Tensione di snervamento di design dell'acciaio	f _{yd} =	391.30 N/mm ²

RESISTENZA A TAGLIO DEGLI ELEMENTI CON ARMATURA SPECIFICA

Resistenza a taglio delle bielle di cls compresse

$$V_{Rd,max} = z \alpha_{cw} b_w v_1 f_{cd} \cot\theta / (1 + \cot^2\theta)$$

Angolo delle bielle compresse

$$\theta = 21.8^\circ$$

Cotangente dell'angolo delle bielle compresse

$$\cot\theta = 2.50$$

Sforzo normale di compressione

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

Tensione media gente

$$\sigma_{cp} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

Rapporto tensionale

$$\sigma_{cp} / f_{cd} = 0.000$$

Coefficiente

$$\alpha_{cw} = 1.000$$

Fattore riduttivo della resistenza

$$v_1 = 0.50$$

Capacità resistente a taglio del cls

$$V_{Rd, max} = 37348.0 \text{ kN}$$

Resistenza a taglio delle barre

$$V_{Rd,s} = z (A_{sw}/s_w) f_{yd} \cot\theta$$

num. bracci 4

diametro 12 mm

passo 300 mm

Area di acciaio resistente a taglio

$$A_{sw}/s_w = 1.51 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Capacità resistente a taglio delle barre

$$V_{Rd,s} = 4895.1 \text{ kN}$$

MASSIMA RESISTENZA A TAGLIO

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rd,max}) = 4895.10 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.