

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 1 di 186	

Impianto idroelettrico di Coghinas – Diga di Muzzone

Renewable Energies Italy - O&M Hydro Italy
Northern Central Area - Territorial Unit Cagliari - UE Coghinas

Comune di Oschiri - Provincia di Sassari

Ripristino dello scarico di fondo

Progetto Esecutivo

Relazione strutturale di calcolo

Relazione Tecnica

IL COMMITTENTE  ENEL GREEN POWER ITALIA SRL Renewable Energies Italy O&M Hydro Italy Northern Central Area		22/12/2023			
		DATA		ING. M. SESSEGO	
IL PROGETTISTA  LOMBARDI SA INGEGNERI CONSULENTI Lombardi SA Ingegneri Consulenti Via del Tiglio, 2, C.P. 934, CH-6512 Bellinzona, Giubiasco (Svizzera)		22/12/2023			
		DATA		ING. M. BRAGHINI	
IL DIRETTORE LAVORI		L' INGEGNERE RESPONSABILE		IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	
		22/12/2023		22/12/2023	
DATA		DATA	ING. M. ARU	DATA	ING. A. BALESTRA

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 2 di 186	

C	22.12.2023	AGi	AGi/MFr
B	07.03.2023	JCa/SHO	AGi/MFr
A	17.11.2022	JCa/AGi/MMe	MFr/Bal
Versione	Data	Redatto	Verificato

Lombardi SA Ingegneri Consulenti
 Via del Tiglio 2, C.P. 934, CH-6512 Bellinzona-Giubiasco
 Telefono +41(0)91 735 31 00
www.lombardi.group, info@lombardi.group

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 3 di 186

INDICE

1.	INTRODUZIONE	8
1.1	Contesto generale e scopo del lavoro	8
1.2	Struttura del rapporto	8
1.3	Documenti di riferimento	9
1.3.1	Documentazione del progetto definitivo e di istruttoria	9
1.3.2	Documenti del progetto esecutivo	10
1.3.3	Riferimenti normativi e linee guida	10
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	12
3.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	15
4.	MATERIALI	17
4.1	Calcestruzzo	17
4.2	Acciaio	17
5.	CALCOLO DELLA CAMERA DI MANOVRA DELLE PARATOIE	18
5.1	Analisi dei carichi e combinazioni di carico	19
5.1.1	Peso proprio	19
5.1.2	Spinta idrostatica	19
5.1.3	Azione agente sul tetto della camera di manovra in caso di efflusso dallo scarico di mezzo fondo	19
5.1.4	Peso delle paratoie	21
5.1.5	Carroponte	21
5.1.6	Carico accidentale agente sul tetto	22
5.1.7	Sovraccarico interno alla camera	22
5.1.8	Azione sismica di progetto	22
5.1.9	Combinazioni di carico	26
5.2	Modello di calcolo	29
5.3	Calcolo delle sollecitazioni	30

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 4 di 186

5.4	Verifiche allo SLU	32
5.4.1	Verifica a presso-flessione	32
5.4.2	Verifiche a taglio	39
5.5	Verifiche a SLE	40
5.5.1	Stato limite fessurativo	40
5.5.2	Analisi tensionale	41
5.6	Progetto delle travi di appoggio del carroponete	43
6.	CALCOLO DEL SALTO DI SCI	47
6.1	Analisi dei carichi e combinazioni di carico	48
6.1.1	Peso proprio	48
6.1.2	Verifica della pressione idraulica nel salto	48
6.1.3	Azione sismica di progetto	48
6.1.4	Combinazioni di carico	48
6.2	Modello di calcolo	49
6.3	Calcolo delle sollecitazioni	50
6.4	Verifiche allo SLU	51
6.4.1	Verifica a pressoflessione	51
6.4.2	Verifiche a taglio	56
6.5	Verifiche a SLE	56
6.5.1	Stato limite fessurativo	56
6.5.2	Analisi tensionale	57
7.	DIMENSIONAMENTO DEL BLINDAGGIO	59
7.1	Analisi dei carichi e combinazioni di carico	60
7.1.1	Peso proprio	60
7.1.2	Spinta idrostatica	60
7.1.3	Pressione esterna	60
7.1.4	Combinazioni di carico	60
7.2	Modello di calcolo	61

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 5 di 186

7.3	Calcolo delle sollecitazioni	62
7.4	Verifica a SLU	63
7.4.1	Verifica a flessione	63
7.4.2	Verifica a taglio	64
7.5	Verifiche a SLE	65
8.	CALCOLO DEI BLOCCHI DI ANCORAGGIO	66
8.1	Blocco di ancoraggio in corrispondenza del gomito	66
8.1.1	Analisi dei carichi e combinazioni di carico	66
8.1.2	Modello di calcolo	69
8.1.3	Calcolo delle sollecitazioni	71
8.1.4	Verifica della capacità portante	71
8.1.5	Verifica del puntone	71
8.1.6	Verifica del tirante	72
8.2	Blocco di ancoraggio in corrispondenza delle paratoie	72
8.2.1	Analisi dei carichi e combinazioni di carico	74
8.2.2	Verifica a taglio del calcestruzzo in corrispondenza delle guide delle paratoie	74
8.2.3	Verifica di stabilità del blocco di ancoraggio	76
8.2.4	Verifica di resistenza del calcestruzzo nell'intorno della paratoia	77
9.	DIMENSIONAMENTO CONDOTTA	81
9.1	Analisi dei carichi e combinazioni di carico	81
9.1.1	Pressione interna dell'acqua	81
9.1.2	Pressione esterna dell'acqua	82
9.2	Materiali	82
9.3	Iniezioni di contatto	83
9.4	Combinazioni di carico	83
9.5	Modello di calcolo	83
9.6	Verifica a pressione interna	84

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 6 di 186

9.6.1	Calcolo delle sollecitazioni	84
9.6.2	Verifica tensionale	85
9.7	Verifica a pressione esterna	86
9.7.1	Calcolo delle sollecitazioni	86
9.7.2	Verifica tensionale	87
10.	VERIFICA TENSIONI DOVUTE ALLA PERFORAZIONE	89
10.1	Premessa	89
10.2	Scenari di calcolo	89
10.3	Materiali	90
10.4	Analisi dei carichi	91
10.4.1	Peso proprio e forze d'inerzia	91
10.4.2	Spinta idrostatica	91
10.4.3	Sottospinta idraulica	92
10.4.4	Sedimenti	92
10.4.5	Azione sismica	92
10.4.6	Combinazione dei carichi	93
10.5	Modello FEM 2D diga	94
10.6	Parametri di calcolo	96
10.7	Modello di analisi perforazione	97
10.7.1	Foro senza tubazione metallica	97
10.7.2	Foro con tubazione metallica inghisata	100
10.7.3	Risultati	105
11.	RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONI D'ISTRUTTORIA	108
12.	CONCLUSIONI	110

ALLEGATI:

- A Sollecitazioni allo SLU ottenuti dal modello di calcolo – Camera di manovra delle paratoie
- B Sollecitazioni allo SLE ottenuti dal modello di calcolo – Camera di manovra delle paratoie

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 7 di 186

- C Risultati VcaSlu per il calcolo degli sforzi allo SLE – Camera di manovra delle paratoie
- D Sollecitazioni allo SLU ottenute dal modello di calcolo – Salto di sci
- E Sollecitazioni allo SLE ottenute dal modello di calcolo – Salto di sci
- F Risultati VcaSlu per il calcolo degli sforzi allo SLE – Salto di sci
- G Sollecitazioni allo SLU ottenute dal modello di calcolo – Blindaggio
- H Deformazioni allo SLE ottenute dal modello di calcolo – Blindaggio
- I Sollecitazioni allo SLU ottenute dal modello di calcolo – Blocco di ancoraggio

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 8 di 186	

1. INTRODUZIONE

1.1 Contesto generale e scopo del lavoro

Enel Green Power Italia S.r.l. – O&M Hydro Italy – Area Centro Nord – Unità Territoriale di Cagliari, nel seguito Enel GP, Gestore dell'impianto idroelettrico di Coghinas, nel Comune di Oschiri (SS), ha incaricato nel luglio 2020 Lombardi SA per attività d'ingegneria relative alla diga di Muzzone.

Obiettivo dell'incarico è la progettazione esecutiva dell'intervento di ripristino dello scarico di fondo, da sviluppare sulla base del progetto definitivo realizzato da Enel GP nell'aprile del 2016 ed approvato dall'Autorità di Controllo, Ufficio Tecnico per le Dighe di Cagliari (in seguito, UTDCa), Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche ((in seguito, DGD) del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con nota n. 27175 del 14/12/2020.

Rispetto al progetto definitivo approvato, Lombardi SA ha proposto in fase di progettazione esecutiva l'innalzamento dello sbocco del nuovo scarico di fondo, con quota terminale dell'asse che passa dalla quota 113.10 m s.l.m. alla quota 121.20 m s.l.m.

In aggiunta al contratto principale, nel mese di marzo 2021, Enel GP ha affidato a Lombardi SA l'incarico per l'esecuzione delle verifiche statiche e sismiche di sicurezza della diga da eseguirsi con metodo semplificato (modello FEM 2D elastico lineare equivalente e analisi dinamiche semplificate con metodo pseudo-statico o pseudo-dinamico su sezione 2D per dighe murarie a gravità).

Scopo del presente rapporto è la redazione della Relazione di Calcolo Strutturale della soluzione progettuale dell'intervento di ripristino dello scarico di fondo a livello di Progetto Esecutivo: la relazione è redatta in modo specifico per fornire risposte specifiche a punti di attenzione sollevati dall'autorità di controllo in corso dell'iter di approvazione del progetto definitivo d'intervento. Nel rapporto si descrivono inoltre gli effetti generati dalla perforazione e la conseguente modifica dello stato tensionale.

1.2 Struttura del rapporto

Il presente rapporto ha la seguente struttura:

- **Capitolo 1:** contiene l'introduzione al lavoro;
- **Capitolo 2:** descrive brevemente le caratteristiche dell'opera;
- **Capitolo 3:** descrive l'intervento oggetto della progettazione esecutiva;
- **Capitolo 4:** illustra le principali caratteristiche dei materiali;

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 9 di 186	

- **Capitolo 5:** contiene i calcoli strutturali realizzati per la camera di manovra esterna delle paratoie;
- **Capitolo 6:** contiene i calcoli strutturali realizzati per il salto di sci terminale;
- **Capitolo 7:** contiene i calcoli strutturali realizzati per il dimensionamento del blindaggio in prossimità della parte terminale dello scarico di fondo;
- **Capitolo 8:** contiene i calcoli strutturali realizzati per i blocchi di ancoraggio della nuova condotta;
- **Capitolo 9:** riporta il calcolo di dimensionamento della condotta forzata;
- **Capitolo 10:** contiene la verifica delle tensioni dovute alle perforazioni;
- **Capitolo 11:** riassume le risposte ai commenti della relazione istruttoria;
- **Capitolo 12:** contiene le conclusioni finali ed esecutive che possono essere ricavate dal presente studio.

1.3 Documenti di riferimento

1.3.1 Documentazione del progetto definitivo e di istruttoria

Per la redazione del presente rapporto è stato fatto riferimento ai documenti elencati nel seguito, compresi nella documentazione d'incarico ricevuta da ENEL GP:

- [1] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Verifiche di sicurezza in relazione al nuovo massimo invaso Definitivo, 2019.
- [2] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Aggiornamento ed integrazione verifiche di sicurezza, 2019.
- [3] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Progetto di ripristino dello scarico di fondo – Progetto Definitivo – Integrazioni, 2019.
- [4] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Ripristino dello scarico di fondo – Progetto Esecutivo – Valutazione delle scale di deflusso degli organi di scarico e verifica del franco netto, 2021.
- [5] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Div. 5 – Coordinamento Controllo Dighe in Esercizio – Diga di Muzzone sul fiume Coghinas, in comune di Oschiri (SS), n° arch. S.N.D. 91 – Nota 26286/RU del 03/12/2020 – Verifiche di sicurezza in relazione al nuovo livello massimo invaso. Richiesta aggiornamento e completamento delle verifiche – Relazione Istruttoria.
- [6] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche – Div. 5 – Coordinamento Controllo Dighe in Esercizio – Diga di Muzzone sul fiume Coghinas, in comune di Oschiri (SS), n° arch. S.N.D. 91 – Progetto Definitivo di

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 10 di 186	

Ripristino dello Scarico di Fondo – Progetto Definitivo 2016 – Integrazioni 2019 – Relazione Istruttoria.

- [7] Diga di Muzzone in comune di Oschiri (SS) (n. arch. S.N.D. 91). Foglio di Condizioni per l'Esercizio e la Manutenzione, F.C.E.M. (1999).

1.3.2 Documenti del progetto esecutivo

- [8] Lombardi: 2020.0240.002-ID-DIG-RT-702 Valutazione delle scale di deflusso degli organi di scarico e verifica franco netto.
- [9] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-RT-802 Verifiche di sicurezza della diga.
- [10] Lombardi: 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102 Relazione idraulica.
- [11] Tecnoin Geosolutions R.C-175bis/21: Relazione indagini geognostiche.

1.3.3 Riferimenti normativi e linee guida

- [12] NTD2014: Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse), di cui al D.MIT del 26.06.2014.
- [13] M.I.T. – Decreto 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni – G.U. n. 42 del 20.02.2018.
- [14] MIT – Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie – Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica di cui al D.M 26.06.201 (NTD14) e al D.M. 17.01.2018 (NTC18). – Giugno 2019.
- [15] M.I.T. – Decreto 14 gennaio 2008: Allegato A alle norme tecniche per le costruzioni: pericolosità sismica.
- [16] M.I.T. – Decreto 14 gennaio 2008: Allegato B alle norme tecniche per le costruzioni: tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica.
- [17] U.S Army Corps of Engineers – Engineering and Design Rock Foundations – 1994.
- [18] Ufficio Federale delle Acque e della Geologia (UFAEG) – Sécurité des ouvrages d'accumulation – Documentation de base pour la vérification des ouvrages d'accumulation aux séismes – Version 1.2 (Mars 2003).
- [19] European Standard EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. 2004.
- [20] European Standard EN 1991-3. Eurocode 1: Actions on structures. Part 3: Actions induced by Cranes and Machinery. 2006.
- [21] ABUS Crane Systems - Overhead Cranes.
- [22] ASCE – Manuals and Reports on Engineering practice No. 79, Steel penstocks, 2012.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 11 di 186	

- [23] Jacobsen S. – The proper design of steel linings for hydro power tunnels – Water power and dam construction, 1983.
- [24] C.E.C.T., Recommendations for the Design, Manufacture and Erection of Steel Penstocks of Welded Construction for Hydro Electric Installations, 1984.
- [25] Hachem and Schleiss – The design of steel-lined pressure tunnels and shafts, Hydropower & dams Issue 3, 2009.
- [26] Statik des Tunnels und Stollenbaues, Hermann Kastner, Springer-Verlag, 1962.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 12 di 186	

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La diga di Muzzone, costruita fra il 1924 ed il 1927, è ubicata in corrispondenza dell'omonima stretta lungo il corso del Fiume Coghinas, circa 7 km a valle della confluenza del Rio Mannu di Ozieri e del Rio Mannu di Berchidda nel Comune di Oschiri, Provincia di Sassari. La diga origina a monte un serbatoio di oltre 240x106 m³, con un bacino imbrifero direttamente sotteso di circa 1'900 km².

Il serbatoio permette la regolazione stagionale delle portate del fiume Coghinas sia per la produzione di energia elettrica nella sottostante centrale del Coghinas che per uso irriguo, industriale e potabile.

Dal punto di vista statico si tratta di una diga a gravità ordinaria (Aa1), a pianta rettilinea e sezione triangolare, realizzata in muratura costituita da un conglomerato cementizio composto da inerti di pezzatura variabile comprendente numerosi elementi di grosse dimensioni (inerti maggiori di 20-40cm), legati da malta di cemento e materiale fino. La diga è provvista di sei giunti verticali disposti alla distanza media di circa 20 m. La tenuta dei giunti è assicurata da un pozzo verticale riempito di bitume in prossimità del paramento di monte e da un foglio di speciale feltro impermeabile applicato con una leggera incassatura. Verso l'acqua il giunto è chiuso mediante una soletta coprigiunto in cemento armato.

La costruzione è stata eseguita con calcestruzzo con inerti di classe granulometrica variabile da ordinaria a ciclopica (dalle indagini risultano evidenti grosse pezzature). Dalle indagini eseguite da TECNO IN Geosolutions S.p.A. nel 2021, il concio verticale attraversato dagli scarichi profondi e dalla tubazione di presa mostra una costruzione eseguita per strati con inerti di diversa pezzatura, eventualmente intasati con malta.

Il paramento di valle è rivestito in pietrame di granito con pezzatura irregolare. Il paramento di monte in calcestruzzo è rivestito con intonaco retinato impermeabilizzato con apposite vernici. Nel corpo diga, in prossimità del paramento di monte, sono predisposti pozzi verticali drenanti, collegati superiormente ed inferiormente da due gallerie d'ispezione.

La stretta, nella quale è costruito lo sbarramento, è incisa profondamente nel granito. Questa roccia è attraversata da filoni diabasici paralleli, ma l'insieme si presenta sul fondo completamente sano e compatto e costituisce un'ottima base per la fondazione. Nella sponda destra il granito presenta delle fessurazioni che danno luogo ad alcune perdite dalla roccia. A titolo esemplificativo si espone una foto dell'area in esame: le venute (sulla sinistra) sono attribuite, per posizione, entità e variabilità, all'infiltrazione nelle fratture dell'ammasso roccioso delle acque dello scarico in alveo dei drenaggi (sulla destra, al termine del canaletto di adduzione). L'ordine di grandezza delle acque emergenti è dell'ordine delle frazioni di litro per secondo.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 13 di 186	



Figura 1: Perdite d'acqua in roccia in corrispondenza della sponda destra a valle diga. Sulla sponda sinistra la diga si addentra maggiormente nel versante, in quanto le condizioni della roccia in posto hanno reso necessario dare uno sviluppo particolarmente accurato al sistema di drenaggio, per cui qui, anteriormente alla diga, è stato realizzato un grande diaframma a protezione della fondazione, munito di 9 pozzi verticali di drenaggio collegati inferiormente da una galleria.

Il bacino imbrifero comprende una vasta zona interna della parte settentrionale della Sardegna e ricade in terreni granitici e trachitici. Le sponde sono in prevalenza ricoperte da terreno vegetale con macchia mediterranea, degradanti con leggera pendenza verso l'invaso. L'alveo a valle corre tortuosamente incassato tra sponde rocciose, fino a sfociare nell'invaso di Casteldoria.

Attualmente lo scarico di fondo si presenta fuori servizio ed in condizione di sicurezza. L'imbocco di monte è completamente interrito. Una batimetria effettuata nel 1988 ha evidenziato che i sedimenti raggiungevano all'incirca quota 121.00 m s.l.m., circa 8 m al di sopra dell'imbocco dello scarico di fondo posto a quota 113.00 m s.l.m. L'ultima batimetria effettuata nel 2011, evidenzia una quota dei sedimenti nel tratto antistante il paramento della diga di 125.50 m s.l.m.

Nel corso del 2012 lo scarico di fondo è stato oggetto di lavori di messa in sicurezza che hanno previsto la chiusura definitiva dello scarico mediante la realizzazione di un tampone in calcestruzzo, a tergo della paratoia di intercettazione, di spessore 200 cm ed inghisato alle murature esistenti. Le pareti del tratto di galleria esistente a contatto con il tampone sono state rinvivate e sagomate in

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 14 di 186	

modo da ottenere una superficie concava che impedisca a quest'ultimo di spostarsi in virtù della sua forma.

A seguito dei lavori effettuati lo scarico di fondo originario è stato pertanto messo fuori servizio.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 15 di 186

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto esecutivo è finalizzato al ripristino dello scarico di fondo della diga di Muzzone. Il nuovo scarico in progetto è costituito da una tubazione in acciaio alloggiata all'interno del corpo diga con imbocco ad una quota superiore rispetto al livello attuale dell'interrimento e dotato di due paratoie piane di intercettazione poste in prossimità dell'uscita della condotta dal corpo diga.

L'asse dello scarico in prossimità dell'imbocco è ubicato a quota 127.50 m s.l.m. mentre l'uscita è prevista con asse a quota 121.20 m s.l.m., ovvero 8.10 m al di sopra rispetto a quanto inizialmente previsto in fase di progetto definitivo.

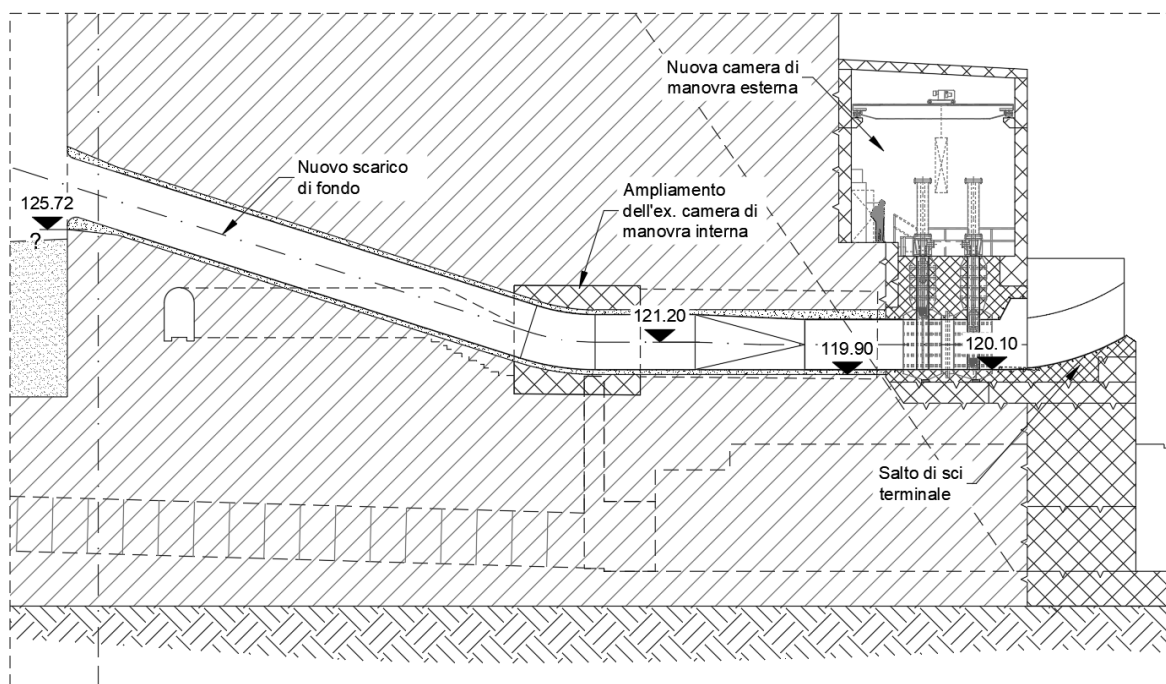


Figura 2: Sezione in asse al nuovo scarico di fondo in corpo diga.

L'esecuzione di questa opera richiede la perforazione di un foro di diametro 2'600 mm nel concio della diga contenente lo scarico di fondo esistente. Se durante la perforazione del concio si incontrassero materiali con caratteristiche scarse che, quando lo scarico è in funzione porterebbero a pericolose vibrazioni del corpo diga, allora si procederà al consolidamento mediante soluzioni studiate all'occorrenza. La tubazione metallica da inserire all'interno della perforazione è prevista con diametro interno pari a 2'200 mm, spessore 15 mm ed annegata nel betoncino di riempimento utilizzato per l'inghisaggio.

Al fine di evitare interferenze con i cunicoli e le gallerie interne presenti nel concio in questione e mantenere dunque una singola linea d'asse del condotto lungo la perforazione, il tracciato

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 16 di 186	

planimetrico del nuovo scarico risulta spostato in pianta di ca. 4.0 m rispetto all'originale. Per questa nuova posizione, si prevede l'ampliamento verso destra dell'ex camera di manovra interna e il suo utilizzo come area di scavo e montaggio.

Oltre a quanto esposto, il progetto prevede:

- inghisaggio del gomito dello scarico all'interno dei volumi della camera di montaggio e blindaggio del tratto finale in uscita di sezione quadrata 2'000 mm x 2'000 mm;
- installazione delle due paratoie allo sbocco dello scarico ed all'interno di una camera di manovra esterna, al di sopra del battente lato valle creato dall'esercizio degli scarichi (paratoia di esercizio e paratoia di manutenzione);
- evacuazione delle portate in uscita dallo scarico di fondo mediante uno ski-jump opportunamente dimensionato per la dissipazione in aria dell'energia della portata scaricata.
- deviazione del tratto finale in orizzontale di tre gradi rispetto alla direzione monte-valle, al fine di evitare che il getto d'acqua in uscita vada ad impattare contro lo sperone in roccia sulla sponda destra, su cui si ubica il cosiddetto "edificio Torretta".

Infine, nell'intercapedine di scavo si prevede l'installazione di un sistema ad aria compressa che permetta la prima movimentazione del limo eventualmente accumulato all'interno della condotta di scarico, ai fini della attivazione dello scarico nel caso risulti occluso da sedimenti.

La geometria di dettaglio dello scarico di fondo e del salto di sci è rappresentata nelle tavole progettuali 2020.0240.002-GC-DIG-DW-101/.../105, 109/.../112.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 17 di 186	

4. MATERIALI

4.1 Calcestruzzo

– Classe di resistenza	C30/37	
– Classe di esposizione	XC3	
– Resistenza caratteristica cubica a compressione	R_{ck}	37 N/mm ²
– Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f_{ck}	30.71 N/mm ²
– Resistenza media a compressione	f_{cm}	38.71 N/mm ²
– Resistenza cilindrica a compressione di progetto	f_{cd}	17.40 N/mm ²
– Resistenza media a trazione	f_{ctm}	2.94 N/mm ²
– Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk,5\%}$	2.06 N/mm ²
– Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)	$f_{ctk,95\%}$	3.82 N/mm ²
– Resistenza media a trazione per flessione	f_{cfm}	3.53 N/mm ²
– Resistenza a trazione di progetto	f_{ctd}	1.37 N/mm ²
– Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	f_{bk}	4.63 N/mm ²
– Resistenza tangenziale di aderenza acciaio-cla di calcolo	f_{bd}	3.09 N/mm ²
– Modulo elastico istantaneo medio (secante)	E_{cm}	33'019 N/mm ²

4.2 Acciaio

– Classe di acciaio	B450	
– Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540 N/mm ²
– Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450 N/mm ²
– Resistenza di progetto	f_{yd}	391.3 N/mm ²
– Sovra-resistenza	f_{tk}/f_{yk}	≥1.15
– Modulo di elasticità	E_s	210'000 N/mm ²

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 18 di 186

5. CALCOLO DELLA CAMERA DI MANOVRA DELLE PARATOIE

Si prevede la realizzazione di una nuova camera di manovra esterna, necessaria per l'alloggiamento dei servomotori e dei dispositivi di movimentazione delle due nuove paratoie. Consiste in una struttura in cemento armato, ubicata in prossimità dello sbocco del nuovo scarico di fondo e connessa alla diga mediante inghisaggio. All'interno della stessa, per l'installazione e la manutenzione delle paratoie, sarà installato un carroponete supportato da mensole in cemento armato.

La geometria di dettaglio della camera di manovra esterna è rappresentata nelle tavole progettuali 2020.0240.002-GC-DIG-DW-109 e 110.

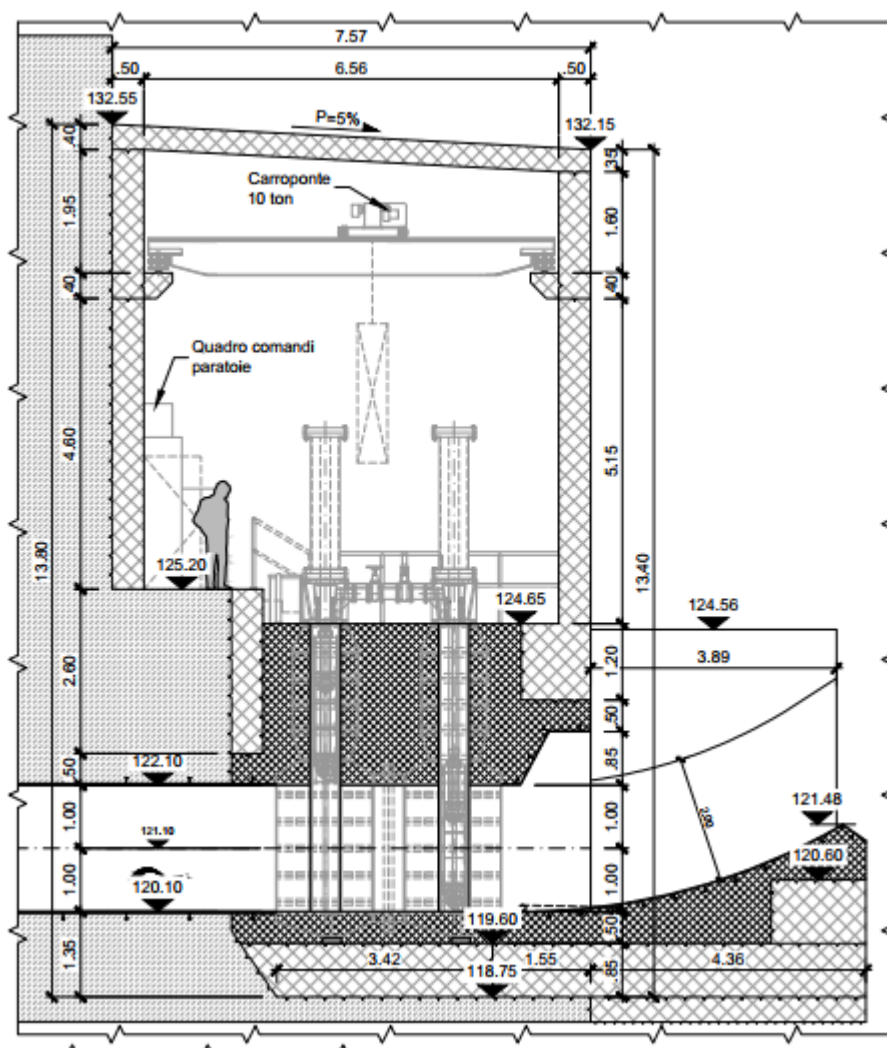


Figura 3: Stato di progetto: sezione trasversale della nuova camera di manovra.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 19 di 186	

5.1 Analisi dei carichi e combinazioni di carico

5.1.1 Peso proprio

L'azione dovuta al peso proprio della struttura è stata calcolata considerando un peso specifico del calcestruzzo armato pari a $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$.

5.1.2 Spinta idrostatica

La spinta idrostatica dell'acqua, agente sempre ortogonalmente al paramento di monte della diga, è stata valutata considerando un peso di volume dell'acqua invasata pari a $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$ ed i seguenti scenari di calcolo:

- serbatoio alla quota di massima regolazione 164.00 m s.l.m. (da F.C.E.M.[7]);
- serbatoio alla quota di massimo invaso rivalutata 167.60 m s.l.m. (vedi documento progettuale [8]).

La pressione idrostatica agente, al variare della profondità, può essere calcolata attraverso la seguente espressione:

$$p_w = \gamma_w \cdot h$$

dove h è la profondità rispetto alla superficie liquida a contatto con l'atmosfera.

Considerando che l'asse del nuovo scarico di fondo in progetto si trova alla quota di 121.20 m s.l.m., si avrà una pressione agente espressa in metri di colonna d'acqua pari a:

- $h = 42.80 \text{ m}$ serbatoio alla quota di massima regolazione
- $h = 46.40 \text{ m}$ serbatoio alla quota di massimo invaso rivalutata

In prossimità della paratoia di monte, considerando che quest'ultima presenta una superficie pari a 4.00 m^2 , si ottiene una forza pari a:

- $F = 1'683 \text{ kN}$ serbatoio alla quota di massima regolazione
- $F = 1'825 \text{ kN}$ serbatoio alla quota di massimo invaso rivalutata

5.1.3 Azione agente sul tetto della camera di manovra in caso di efflusso dallo scarico di mezzo fondo

Per stimare la forza che l'acqua in efflusso dallo scarico di mezzo fondo genera sul tetto della camera di manovra è necessario valutare le condizioni per le quali si verifichi tale situazione. Nel caso in cui si consideri la portata massima in efflusso dallo scarico ($175.41 \text{ m}^3/\text{s}$) è facile dimostrare che, data la geometria dello scarico, il getto in uscita è caratterizzato da una velocità tale da oltrepassare nella sua traiettoria la camera di manovra stessa.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 20 di 186

Lo scarico intermedio si trova ad una distanza in orizzontale e verticale dal centro della soletta del tetto, rispettivamente di 7.00 e 4.23 m (v. **Figura 4**). In funzione di queste informazioni può essere ricavata la portata in efflusso sulla copertura mediante le seguenti equazioni relative al moto rettilineo uniformemente accelerato di una particella:

$$h = V_{y,0} t + 1/2 g t^2$$

$$x = V_x t$$

$$Q_{u,s} = A_{si} V_x$$

$$V_{y,f}^2 = V_{y,0}^2 + 2gh$$

dove:

- x distanza orizzontale [m];
- h altezza [m];
- $V_{i,f}$ velocità finale in direzione i [m/s];
- $V_{i,0}$ velocità iniziale in direzione i [m/s];
- g gravità [m/s²];
- t tempo [s];
- $Q_{u,s}$ portata all'uscita dello scarico intermedio [m³/s];
- A_{si} sezione scarico intermedio [m²].

Dalla risoluzione delle equazioni risulta che la velocità in uscita dallo scarico intermedio (V_x) è pari a 7.54 m/s. Considerando dunque il diametro dello scarico pari a 2.60 m, la portata di uscita risulta di 40.08 m³/s. La velocità d'impatto sulla copertura ($V_{y,f}$) risulta conseguentemente pari a 9.11 m/s.

La forza idrodinamica agente sul tetto è calcolata dunque attraverso la seguente espressione:

$$F = Q V_{y,f} \rho$$

dove:

- Q portata in efflusso dallo scarico di mezzofondo [m³/s]
- $V_{y,f}$ velocità del flusso al momento dell'impatto [m/s]
- ρ densità dell'acqua [kg/m³]

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 21 di 186

Si ottiene pertanto una forza di 365.11 kN che, distribuita uniformemente sul tetto della camera di manovra ($A=75.66 \text{ m}^2$), genera una pressione di 4.82 kN/m^2 . Poichè lo scarico intermedio è composto da due tubazioni, il carico sopra la copertura del locale risulta pari a 9.65 kN/m^2 .

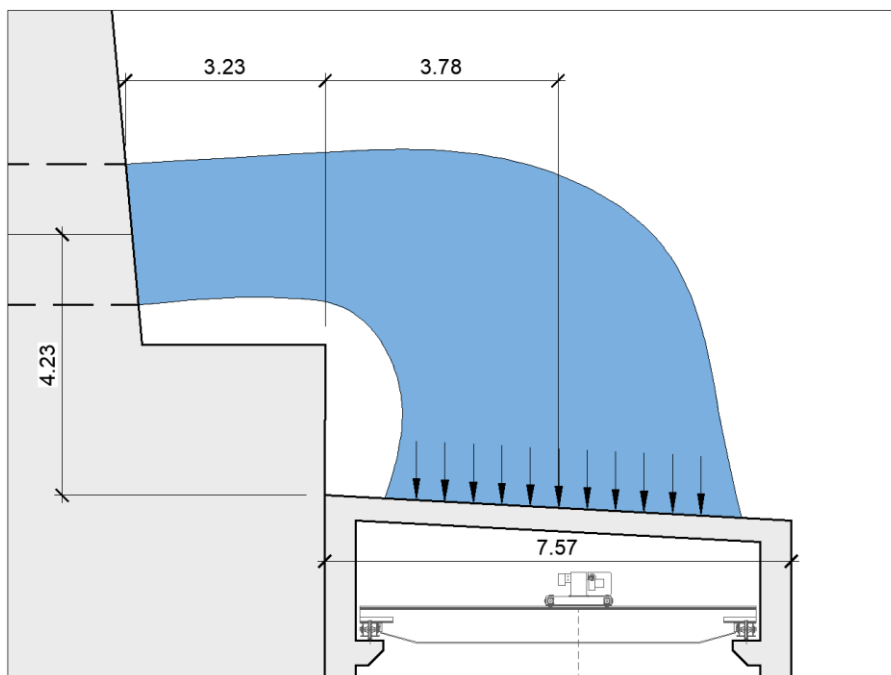


Figura 4: Azione agente sul tetto della camera di manovra in caso di efflusso dallo scarico di mezzo fondo.

5.1.4 Peso delle paratoie

Si specifica che al momento della stesura del presente rapporto, non sono ancora state definite dal fornitore specializzato le specifiche delle paratoie. Pertanto, si assumeranno dei valori cautelativi di riferimento.

Il peso delle paratoie è modellato come un carico permanente agente sulla platea alla base della camera. Ipotizzando che ogni paratoia pesi circa 6 ton, si ottiene, per ciascuna, una forza di 60 kN distribuita su un'area di 1.24 m^2 .

5.1.5 Carroponte

Al momento della stesura di questo rapporto, le specifiche del carroponte non sono state definite dal fornitore. Per questo motivo, ai fini dei calcoli, si prendono in considerazione dei valori di riferimento basati sull'esperienza di Lombardi in contesti simili.

Il carroponte da installare all'interno della camera avrà una capacità di 100 kN. Il suo peso proprio è calcolato dunque come il 20% della portata massima, ossia 20 kN.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 22 di 186	

5.1.6 Carico accidentale agente sul tetto

Conservativamente, si è considerato un carico accidentale di 10 kN/m² per tener conto di eventuali sovraccarichi durante la vita utile della struttura.

5.1.7 Sovraccarico interno alla camera

All'interno della camera di manovra si tiene in conto di un ulteriore sovraccarico verticale uniformemente distribuito pari a 10 kN/m².

5.1.8 Azione sismica di progetto

Le azioni sismiche di progetto sono definite in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido con superficie orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , come definito nelle NTC2018 [12].

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni. Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno). Il reticolo di riferimento delle NTC suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella 1 e 2 dell'allegato B alle NTC 2008 [16]; <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Si ipotizza che la camera di manovra in progetto sia solidale con la diga e pertanto, quando soggetta ad azione sismica, sia soggetta alle medesime accelerazioni della stessa [9].

In accordo al paragrafo H.3.4.1 delle NTD2014 [12], nel caso di dighe esistenti deve essere assunta una vita utile $V_N = 50$ anni. Il periodo di riferimento dell'azione sismica è definito in funzione della vita nominale V_N e del coefficiente d'uso C_U secondo la relazione valida per le dighe di nuova costruzione e con riferimento alla seguente tabella:

Dighe	V_N [anni]	C_U	V_R [anni]
Strategiche	≥ 50	2.0	100
Rilevanti		1.5	75

Tabella 1: Periodo di riferimento dell'azione sismica.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 23 di 186

Nel caso in questione, essendo la diga di Muzzone un'opera di tipo strategico, il periodo di riferimento risulta pari a $V_R = 100$ anni.

I periodi di ritorno dell'azione sismica allo SLD e allo SLC, relativi alle probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R del 63% e del 5%, sono pari rispettivamente a 100 anni e 1946 anni.

I parametri caratteristici dell'azione sismica sono stati ricavati, mediante interpolazione, della Tabella 2 dell'Allegato B delle NTC2008 [16]. I valori caratteristici dell'azione di progetto, per i distinti stati limite considerati, si riportano nella **Tabella 2**:

Parametro	SLD	SLC
T_R [anni]	100	1946
a_g [g]	0.031	0.071
F_0	2.729	3.061
T_c^* [s]	0.307	0.393

Tabella 2: Parametri caratteristici azione sismica di progetto.

dove:

a_g	accelerazione orizzontale massima al sito
F_0	valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
T_c^*	valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

In funzione delle caratteristiche del sito, inoltre, è possibile assumere quanto segue:

- categoria di sottosuolo tipo A, alla quale corrisponde un coefficiente $S_S = 1$ (Tabella 3.2.II delle NTC2018 [12]);
- categoria topografica T1, alla quale corrisponde un coefficiente $S_T = 1$ (Tabella 3.2.IV delle NTC2018 [12]).

In accordo a tali valori, il coefficiente d'amplificazione stratigrafica $S = S_S \cdot S_T$ risulta pari all'unità.

Gli spettri di progetto ottenuti per le verifiche, corrispondenti ad uno smorzamento ξ del 5%, sono riportati in **Figura 5**.

Per la definizione degli spettri di calcolo, si è assunto un fattore di struttura q unitario, ipotizzando dunque che la struttura in oggetto non abbia capacità dissipative.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 24 di 186

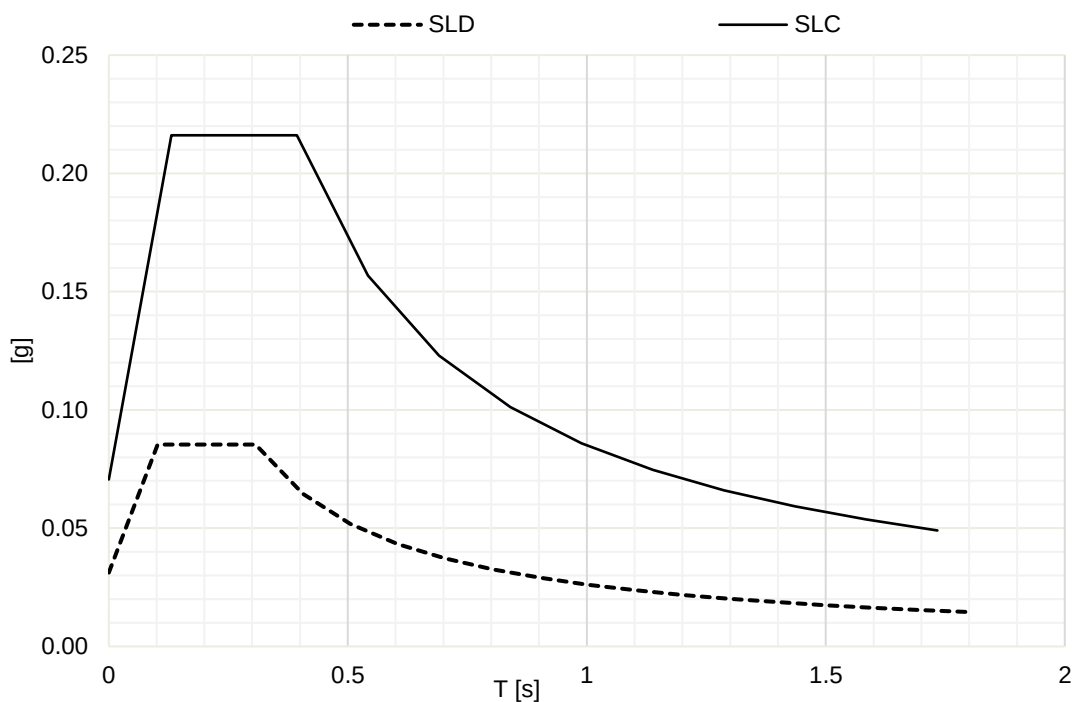


Figura 5: Spettri elastici di progetto allo SLD e SLC.

Attraverso l'analisi pseudo-dinamica [10], che non si riporterà nell'ambito del presente elaborato, è stato possibile calcolare le accelerazioni orizzontali al suolo in funzione del periodo del primo modo di vibrare. Si riportano di seguito i valori del periodo fondamentale di vibrare ($\tilde{T}_1$) e lo smorzamento ($\tilde{\zeta}_1$), per la sezione della diga S5, dove sarà presente la camera di manovra in progetto:

$$\tilde{\zeta}_1 = 0.051$$

smorzamento

$$\tilde{T}_1 = 0.211 \text{ s}$$

periodo del primo modo di vibrare

A cui corrispondono le seguenti accelerazioni riportate in tabella:

Sezione	$a_h\text{SLD [g]}$	$a_h\text{SLC [g]}$
S5	0.088	0.222

Tabella 3: Accelerazione orizzontale allo SLD e SLC.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 25 di 186

Relativamente al sisma in direzione verticale, se il corpo diga può considerarsi rigido e qualora possa ritenersi che l'interazione con il terreno non modifichi la risposta nei confronti dell'azione verticale, il coefficiente sismico può assumersi pari all'accelerazione verticale di picco del terreno, definita nelle NTC2018 al punto 3.2.3.2.2 [12]:

$$a_v = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \frac{F_v}{F_0}$$

dove:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

S fattore di amplificazione stratigrafica

F_v fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la seguente relazione:

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0.5}$$

I coefficienti di accelerazione sismica verticale adottati sono mostrati nella **Tabella 4**:

Sezione	a_{vSLD} [g]	a_{vSLC} [g]
S5	0.007	0.019

Tabella 4: Accelerazione verticale allo SLD e SLC.

Le verifiche di sicurezza della diga in condizioni sismiche sono state condotte mediante analisi pseudo-statica, in conformità a quanto indicato al paragrafo D.1.3 delle NTC2014 [12]. Le forze statiche equivalenti sono pertanto ricavate con la seguente relazione:

$$F_h = a_h \cdot \frac{W}{g} \qquad F_v = a_v \cdot \frac{W}{g}$$

dove:

F_h forza statica orizzontale equivalente

F_v forza statica verticale equivalente

g accelerazione di gravità

W peso della struttura

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 26 di 186	

a_h accelerazione orizzontale ricavata da spettro di risposta elastico

a_v accelerazione verticale

5.1.9 Combinazioni di carico

Le azioni definite al precedente paragrafo sono state combinate in modo da tener conto di tutte le possibili situazioni che possano ragionevolmente essere previste durante l'esecuzione e l'esercizio della camera di manovra. A fini delle verifiche dei vari stati limite la normativa attuale definisce le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazioni fondamentali SLU:

$$\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \dots$$

- Combinazione eccezionale SLU:

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

- Combinazioni sismica (SLE e SLU):

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

- Combinazione caratteristica rara (SLE irreversibili):

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \times Q_{k2} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$$

Nelle precedenti espressioni si definiscono i seguenti tipi di azioni:

- Permanenti (G): le azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della diga la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo: peso proprio della diga; spinte dell'acqua; eventuali spinte degli interrimenti (G1); peso proprio di tutti gli elementi non strutturali, ove rilevanti (G2); ritiro e viscosità.
- Variabili (Q): le azioni sulla struttura con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo. Possono essere di lunga durata quando agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale dell'opera (per esempio le coazioni di origine termica dovute alle variazioni di temperatura esterna), oppure possono essere di breve durata; quando agiscono per un periodo di

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 27 di 186

tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura (come le coazioni di origine termica determinate dallo sviluppo del calore di idratazione durante il processo di pressa del calcestruzzo).

- c) Eccezionali (A): le azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura ed in particolare l'incremento di spinta dell'acqua in condizioni di massimo invaso.
- d) Sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti. Per la combinazione tra le azioni sismiche nelle direzioni orizzontali (parallela alla direzione monte-valle e nella direzione verticale z) si assumeranno i seguenti coefficienti di concomitanza:

Direzione	x	z
Coefficienti di concomitanza	1	0.3
	0.3	1

Tabella 5: Coefficienti di concomitanza per la combinazione delle azioni sismiche (Tab C5 DM 2014).

Nel caso in questione, pertanto, si considerano i seguenti scenari di calcolo (vedi **Tabella 6**):

- C1. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione e scarico di fondo chiuso (SLU Fondamentale)
- C2. Serbatoio pieno, con livello alla quota di massimo invaso rivalutata e scarico di fondo chiuso (SLU Eccezionale)
- C3. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione e scarico di fondo aperto (SLU Fondamentale)
- C4. Serbatoio pieno, con livello alla quota di massimo invaso rivalutata e scarico di fondo aperto (SLU Eccezionale)
- C5. Scarico di mezzo fondo aperto con massima portata in efflusso e livello alla massima regolazione (SLU Fondamentale)
- C6. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione; Paratoia sollevata dal carro-ponte in fase di manutenzione (SLU Fondamentale)
- C7. Serbatoio pieno (SLE-Rara)
- C8. Serbatoio pieno (SLE-Quasi permanente)
- C9. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione (SLD)
- C10. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione (SLC)

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas		CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 28 di 186

	Carico	SLU						SLE		Sismica	
		Scarico chiuso - massima regolazione	Scarico chiuso - invaso massimo	Scarico aperto - massima regolazione	Scarico aperto - invaso massimo	Scarico intermedio aperto	Massima regolazione Manutenzione	Rara	Quasi permanente	Chiuso + SLD - massima regolazione	Chiuso + SLC - massima regolazione
G1	Proprio peso	1.30	1.00	1.30	1.00	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
G2	Peso della paratoia	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
G2	Spinta idrostatica massima regolazione	1.50	-	1.50	-	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
G2	Spinta idrostatica massimo invaso	-	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-
G2	Peso carro ponte	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
Q	Occupazione camera	1.50	1.05	1.50	1.00	1.05	-	1.00	0.90	0.30	0.30
Q	Carico sul tetto	1.50	1.00	1.50	1.00	1.05	-	1.00	0.90	0.30	0.30
Q	Manutenzione paratoia	-	-	-	-	-	1.50	1.00	0.90	-	-
Q	Carico acqua scarico di mezzo fondo	-	-	-	-	1.50	-	-	-	-	-
E	Sisma SLD	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-
E	Sisma SLC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
	Combinazione	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10

Tabella 6: Combinazioni di carico per la verifica strutturale della camera di manovra paratoie.

La componente verticale, ovvero quella lungo z, deve essere tenuta in considerazione solo nel caso in cui incida in maniera rilevante sulla costruzione: questo non accade nel presente caso, ed è il motivo per cui nei calcoli è stata trascurata la presenza dell'azione sismica verticale.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 29 di 186

5.2 Modello di calcolo

Il modello di calcolo, realizzato utilizzando il software agli elementi finiti SAP2000 v18, consiste in una serie di elementi bidimensionali di tipo “shell”, ognuno dei quali avente quattro nodi. Gli elementi presentano spessore differente in funzione dell’area che rappresentano come riportato di seguito:

- Lastra del tetto 0.38 m
- Muri laterali 0.50 m
- Pareti attorno alle paratoie 0.55 m
- Platea di base 0.85 m

I vincoli della camera di manovra sono stati modellati, conservativamente, con l’ipotesi di appoggio semplice, come visibile in **Figura 6**. Ogni elemento strutturale è stato quindi discretizzato mediante una mesh di dimensione 1.0x1.0 m in modo da ottenere un’accettabile precisione di calcolo. L’accuratezza dei risultati del modello è stata verificata mediante un’analisi di convergenza della soluzione assumendo come riferimento un modello con mesh di dimensione 0.25x0.25 cm. Si

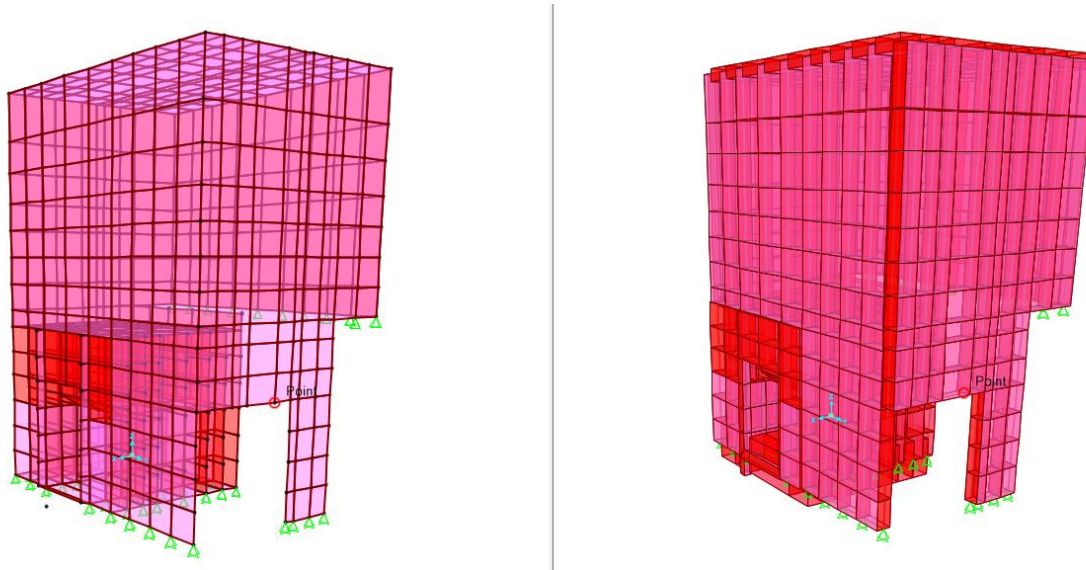


Figura 6: Vista 3D del modello ad elementi finiti della camera di manovra.

Si ritiene inoltre, che l’uso di cerniere al posto di incastri alla base faciliti l’esecuzione in cantiere evitando interventi come l’installazione di doppie file di tirafondi o qualsiasi altra lavorazione necessaria a garantire fisicamente la realizzazione delle condizioni di incastro.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 30 di 186

5.3 Calcolo delle sollecitazioni

Le sollecitazioni sono state calcolate amplificando i carichi descritti al paragrafo 5.1 mediante i fattori parziali indicati in **Tabella 6**, in ottemperanza delle NTC 2018.

Per fini pratici, la struttura si divide nei seguenti elementi strutturali:

- Copertura;
- Platea di base;
- Muro posteriore;
- Muro frontale;
- Muro destro;
- Muro sinistro.

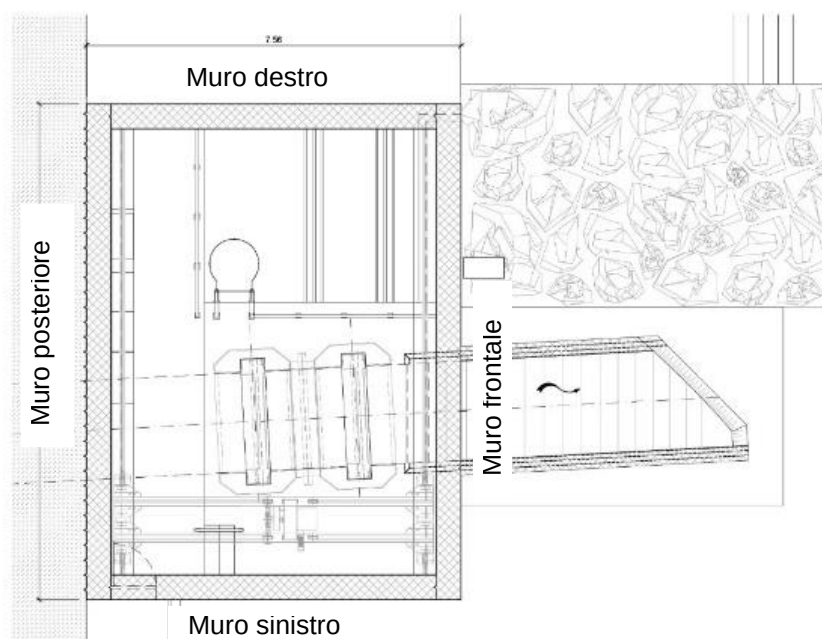


Figura 7: Identificazione degli elementi di calcolo.

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i risultati dei calcoli eseguiti per gli elementi considerati in termini di caratteristiche di sollecitazioni massime. Si riportano solo i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa, ovvero quella che genera le massime sollecitazioni. Tale combinazione è indicata nell'ultima colonna di **Tabella 7**.

Convenzionalmente si assumono come negativi, i momenti che sollecitano le fibre esterne delle lastre del tetto e delle pareti. L'azione normale è positiva se di trazione, negativa se di compressione.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 31 di 186

I momenti M_{11} e M_{22} sono definiti dal software di calcolo secondo gli assi locali degli elementi "shell". La convenzione degli assi è la seguente: asse locale 1-1 in rosso, asse locale 2-2 in verde, asse locale 3-3 in ciano (vedi Allegati). Per i muri l'asse 1-1 e l'asse 2-2 sono contenuti nel piano della sezione trasversale mentre l'asse 3-3 è orientato perpendicolarmente alla superficie (definisce lo spessore). Per la copertura e la platea di base: l'asse 1-1 è parallelo all'asse dello scarico, l'asse 2-2 è trasversale all'asse dello scarico e l'asse 3-3 è perpendicolare alla superficie dell'elemento.

SLU								
Elemento	M_{11} [kNm]	M_{11} [kNm]	M_{22} [kNm]	M_{22} [kNm]	N [kN]	N [kN]	V [kN]	Combinazione
Copertura	-72.96	56.19	-62.47	35.99	-45.60	25.59	79.92	C1
Platea di base	-65.80	41.09	-44.62	30.99	0.00	0.00	54.33	C4
Muro posteriore	-23.44	16.97	-27.07	63.64	-194.66	50.50	29.32	C1
Muro frontale	-23.83	17.16	-17.95	64.04	-423.35	88.94	17.26	C1
Muro destro	-24.03	15.00	-14.51	52.56	-425.80	423.74	20.20	C1
Muro sinistro	-24.03	15.40	-9.41	51.78	-297.82	907.10	23.24	C1

Tabella 7: Massime sollecitazioni allo SLU.

SLE - Rara								
Elemento	M_{11} [kNm]	M_{11} [kNm]	M_{22} [kNm]	M_{22} [kNm]	N [kN]	N [kN]	V [kN]	
Copertura	-44.58	34.04	-37.87	21.94	-25.40	2.21	47.71	
Platea di base	-15.73	9.36	-17.33	13.65	0.00	0.00	16.43	
Muro posteriore	-14.37	10.53	-9.01	35.85	-157.63	27.33	10.91	
Muro frontale	-14.27	10.55	-7.03	36.43	-330.82	31.54	11.75	
Muro destro	-15.39	8.94	-6.58	29.69	-353.04	130.61	9.99	
Muro sinistro	-15.85	9.26	-6.65	29.21	-232.76	212.10	9.79	

Tabella 8: Sollecitazioni allo SLE Rara.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 32 di 186	

SLE – Quasi permanente							
Elemento	M ₁₁ [kNm]	M ₁₁ [kNm]	M ₂₂ [kNm]	M ₂₂ [kNm]	N [kN]	N [kN]	V [kN]
Copertura	-38.45	29.95	-33.28	19.29	-23.39	2.20	41.98
Platea di base	-15.67	9.29	-17.33	13.65	0.00	0.00	26.02
Muro posteriore	-12.64	9.27	-8.73	31.55	-150.07	23.91	8.25
Muro frontale	-12.59	9.29	-6.20	32.04	-321.83	24.79	10.36
Muro destro	-13.53	7.84	-5.79	26.10	-343.22	127.33	8.72
Muro sinistro	-13.97	8.16	-5.86	25.65	-226.13	210.45	8.64

Tabella 9: Sollecitazioni allo SLE Quasi Permanente.

5.4 Verifiche allo SLU

Le verifiche allo stato limite ultimo sono condotte considerando i valori massimi, positivi e negativi, delle sollecitazioni ottenute secondo le due direzioni principali e riportati in **Tabella 10**.

SLU									
Elemento	M ₁₁ [kNm]	N [kN]	M ₁₁ [kNm]	N [kN]	M ₂₂ [kNm]	N [kN]	M ₂₂ [kNm]	N [kN]	V [kN]
Copertura	-72.96	-16.13	56.19	-8.40	-62.47	-39.00	35.99	5.02	79.92
Platea di base	-65.80	0.00	41.09	0.00	-44.62	0.00	30.99	0.00	54.33
Muro posteriore	-23.44	15.99	1.64	-237.88	-27.07	-213.46	63.64	-52.54	29.32
Muro frontale	-23.83	14.82	3.86	-457.37	-17.95	-225.20	64.04	-52.01	17.26
Muro destro	-24.03	19.75	15.00	-37.39	-6.43	-488.47	52.56	-45.90	20.20
Muro sinistro	-24.03	19.41	15.40	-39.43	5.56	-327.98	51.78	-48.28	23.24

Tabella 10: Sforzi massimi agenti nelle due direzioni principali allo SLU.

5.4.1 Verifica a presso-flessione

All'interno del presente paragrafo si mostrano le verifiche di presso-flessione allo stato limite ultimo per i vari elementi strutturali in analisi. Il copriferro è assunto pari a 50 mm.

Noti i seguenti parametri di progetto:

- A_s armatura tesa
- $A_{s'}$ armatura compressa
- b base della sezione
- h altezza della sezione

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 33 di 186

è stato possibile, attraverso l'utilizzo del software VcaSlu, definire il dominio di resistenza della sezione tipica di ciascun elemento e confrontarlo con gli sforzi agenti.

Le verifiche sono riportate nelle figure successive.

Elemento	A_S	$A_{S'}$	b [cm]	h [cm]
Copertura	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	38

Tabella 11: Caratteristiche sezione tipo della copertura della camera per verifica a presso-flessione.

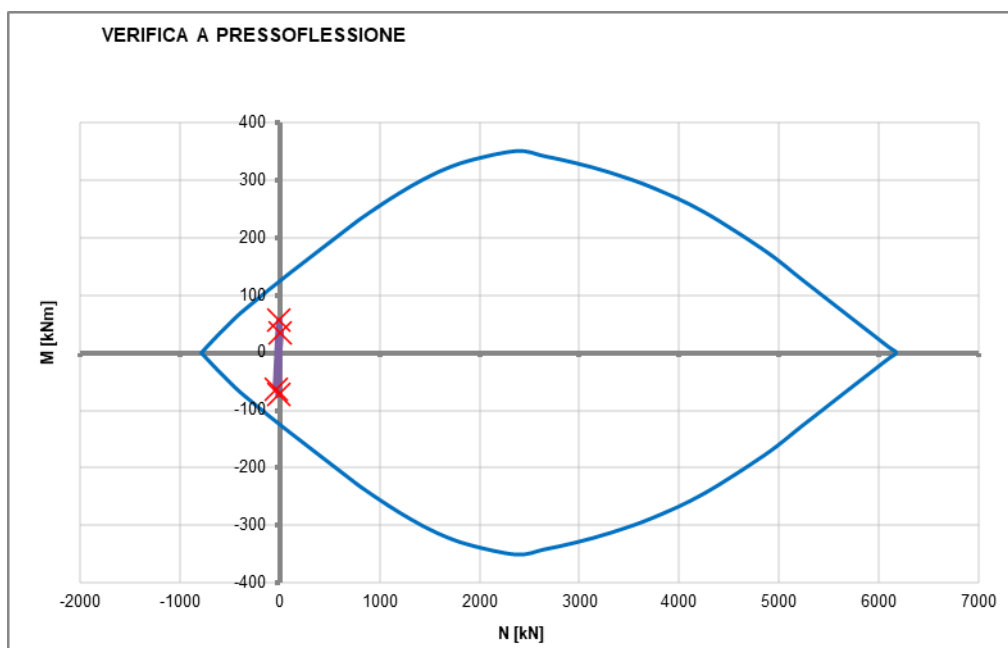


Figura 8: Dominio di resistenza per la sezione tipo della copertura della camera.

La totalità delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 34 di 186

Elemento	A_s	A_s	b [cm]	h [cm]
Platea di base	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	85

Tabella 12: Caratteristiche sezione tipo della platea di base della camera per verifica a presso-flessione.

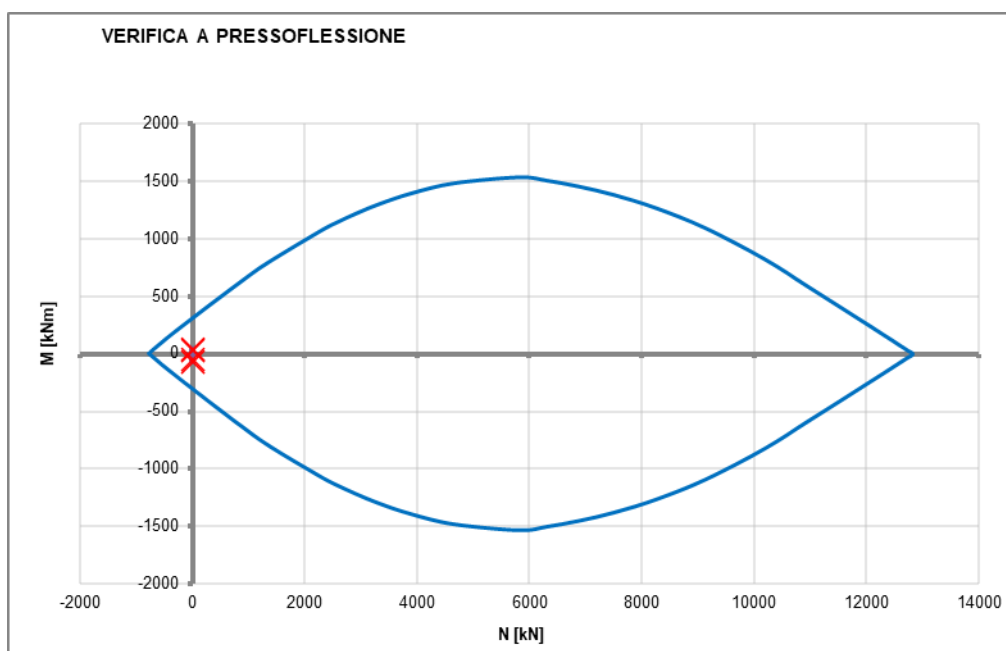


Figura 9: Dominio di resistenza per la sezione tipo della platea di base della camera.

L'insieme delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

La verifica viene effettuata per la platea di base della camera di manovra, realizzata nella prima fase di getto. Come si può osservare dalla **Figura 9**, le forze assiali e di momento sono di bassa entità. Pertanto, la sezione è armata solo come misura conservativa per evitare fenomeni fessurativi.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 35 di 186

Elemento	A_S	A_{S_r}	b [cm]	h [cm]
Muro posteriore	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	50

Tabella 13: Caratteristiche sezione tipo del muro posteriore per verifica a presso-flessione.

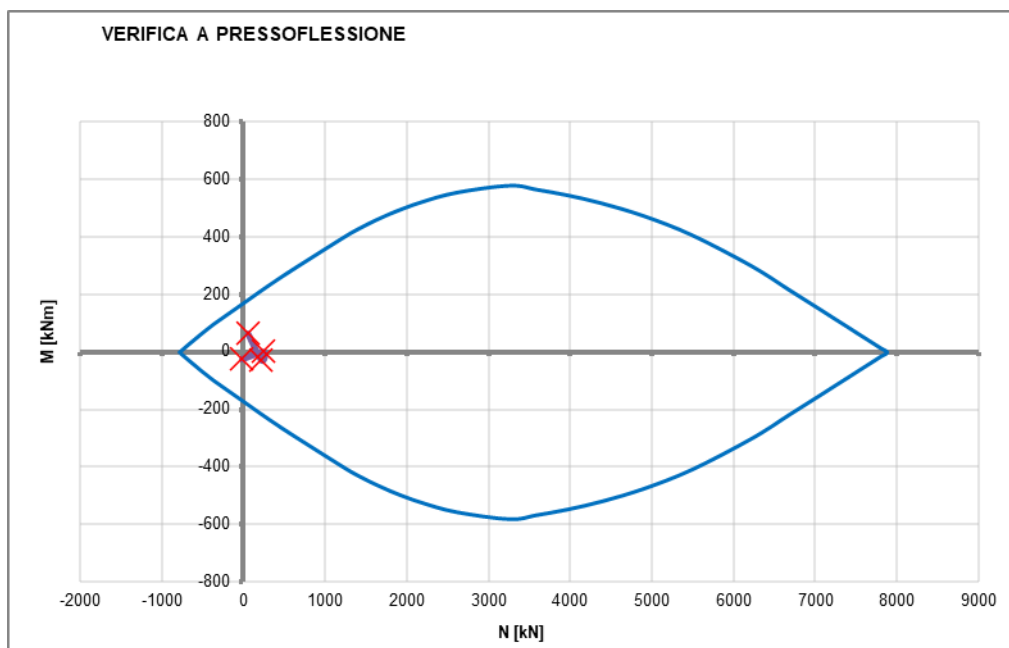


Figura 10: Dominio di resistenza per la sezione tipo del muro posteriore.

L'insieme delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 36 di 186

Elemento	A_S	A_{S_r}	b [cm]	h [cm]
Muro frontale	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	50

Tabella 14: Caratteristiche sezione tipo del muro frontale per verifica a presso-flessione.

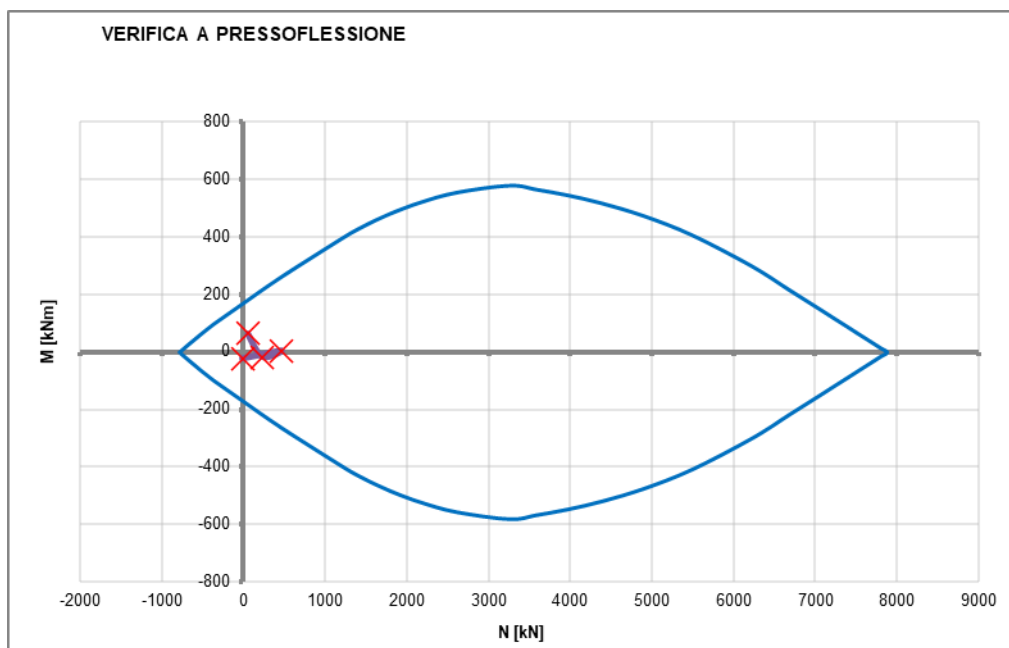


Figura 11: Dominio di resistenza per la sezione tipo del muro frontale.

L'insieme delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 37 di 186

Elemento	A_S	A_{S_r}	b [cm]	h [cm]
Muro destro	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	50

Tabella 15: Caratteristiche sezione tipo del muro destro per verifica a presso-flessione.

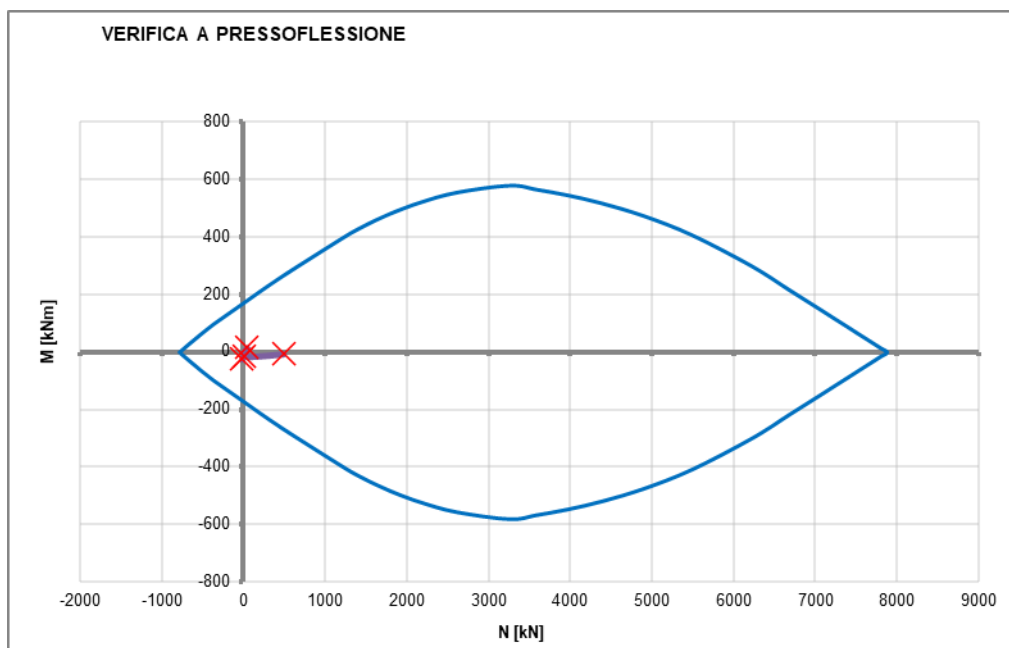


Figura 12: Dominio di resistenza per la sezione tipo del muro destro.

L'insieme delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 38 di 186

Elemento	A_s	A_s	b [cm]	h [cm]
Muro destro	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	50

Tabella 16: Caratteristiche sezione tipo del muro sinistro per verifica a presso-flessione.

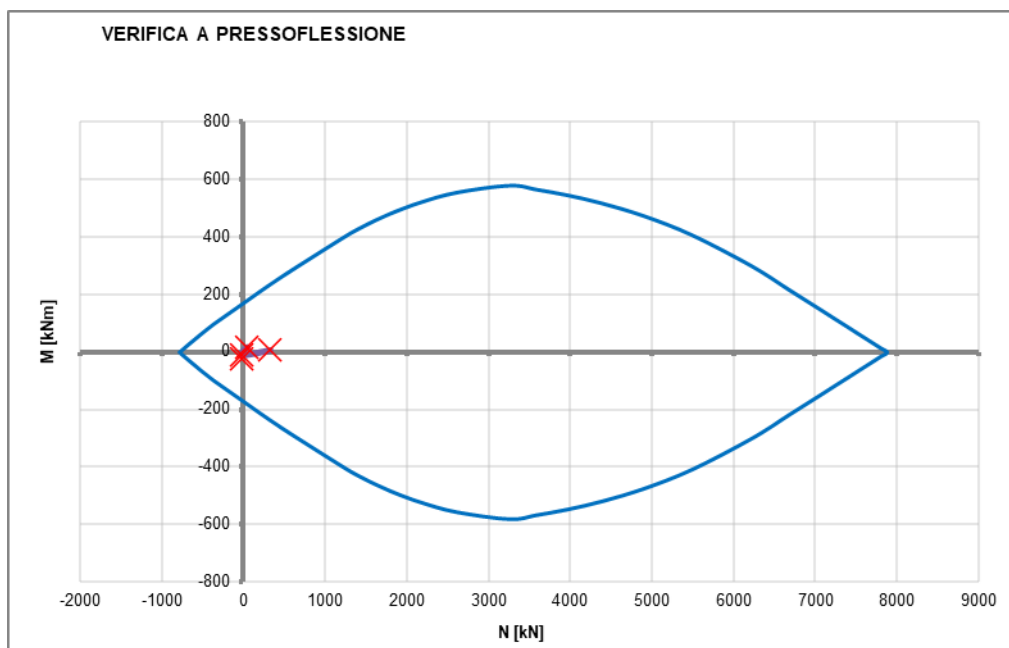


Figura 13: Dominio di resistenza per la sezione tipo del muro sinistro.

L'insieme delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 39 di 186

5.4.2 Verifiche a taglio

La verifica di resistenza a taglio allo SLU si esprime tramite la seguente relazione:

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

dove:

- V_{Ed} valore di progetto dello sforzo di taglio agente [kN]
- V_{Rd} resistenza di progetto a taglio [kN]

La resistenza a taglio V_{Rd} nel caso di membrature prime di armatura è data dalla seguente formula (NTC 2018 Capitolo 4.1.2.3.5.1):

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

dove:

d altezza utile della sezione [mm]

b_w larghezza minima della sezione [mm]

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$ rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ($\leq 0,02$) che si estende per non meno di $(l_{bd} + d)$ oltre la sezione considerata, dove l_{bd} è la lunghezza di ancoraggio

f_{ck} resistenza cilindrica a compressione [MPa]

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

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

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ tensione media di compressione della sezione ($\leq 0,02 f_{cd}$) [MPa]

Si riportano in **Tabella 9** le verifiche di resistenza a taglio effettuate per i vari elementi strutturali componenti la camera di manovra.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 40 di 186

Elemento	Unità di misura	Copertura	Muro posteriore	Muro frontale	Muro destro	Muro sinistro	Platea di base
Sezione	[b x h]	1.00x0.38m	1.00x0.50m	1.00x0.50m	1.00x0.50m	1.00x0.50m	1.00x0.85m
γ_c	[-]	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
R_{ck}	[N/mm ²]	30	30	30	30	30	30
f_{ck}	[N/mm ²]	25	25	25	25	25	25
b_w	[mm]	1'000	1'000	1'000	1'000	1'000	1'000
d	[mm]	320	440	440	440	440	790
σ_{cp}	[N/mm ²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A_s	[mm ²]	1'005	1'005	1'005	1'005	1'005	1'005
ρ_1	[-]	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
k	[-]	1.79	1.67	1.67	1.67	1.67	1.50
V_{Rd}	[kN]	136	158	158	158	158	209
$V_{Rd,min}$	[kN]	134	166	166	166	166	254
$V_{Rd,eff}$	[kN]	136	166	166	166	166	254
V_{Sd}	[kN]	79.92	29.32	17.36	20.20	23.24	54.33
FS	[-]	1.71 ✓	5.68 ✓	9.59 ✓	8.24 ✓	7.16 ✓	4.68 ✓

Tabella 17: Verifica a taglio.

5.5 Verifiche a SLE

Le verifiche allo stato limite di esercizio sono condotte considerando i valori di sollecitazione ottenuti in precedenza e riassunti in **Tabella 8** e **Tabella 9**.

5.5.1 Stato limite fessurativo

Conformemente a quanto indicato nelle NTC2018 al paragrafo 4.1.2.2.4, si deve verificare che il valore limite di apertura della fessura sia $w_1 \leq 0.2$ mm.

In **Tabella 18** sono riportati i risultati delle verifiche di fessurazione per la combinazione rara e quasi permanente.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 41 di 186

Verifiche a fessurazione SLE									
Elemento	M _{max} [kNm]	N _{corrisp} [kN]	b [cm]	h [cm]	A _{s,sup/esterno}	A _{s,inf/interno}	W _d [mm]	W _i [mm]	W _d < W _i
Copertura	-39.98	-8.52	100	38	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Platea di base	15.21	0.00	100	85	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Muro posteriore	30.63	-65.20	100	50	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Muro frontale	32.87	-67.96	100	50	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Muro destro	27.12	-57.35	100	50	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Muro sinistro	26.49	-60.74	100	50	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓

Tabella 18: Verifiche a fessurazione allo SLE.

Dalla precedente tabella si osserva che le verifiche di fessurazione sono soddisfatte per i vari elementi strutturali in analisi.

5.5.2 Analisi tensionale

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature attraverso il software VcaSlu.

Secondo le prescrizioni delle NTC18 Capitolo 4.1.2.2.5.1, la massima tensione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

Per la combinazione rara:

$$- \sigma_{c,max} < 0.60 f_{ck} = 15 \text{ MPa}$$

Per la combinazione quasi permanente:

$$- \sigma_{c,max} < 0.45 f_{ck} = 11.25 \text{ MPa}$$

Per quanto riguarda l'acciaio, la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica rara deve rispettare la limitazione seguente (NTC 2018, capitolo 4.1.2.2.5.2):

$$- \sigma_s < 0.80 f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

Nelle seguenti tabelle sono riportate le verifiche tensionali realizzate per i vari elementi in analisi.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 42 di 186

Analisi tensionale SLE									
Elemento	M _{max} [kNm]	N _{corrisp} [kN]	b [cm]	h [cm]	A _{s,sup}	A _{s,inf}	σ _s [MPa]	σ _{s'} [MPa]	σ _{c,max} [MPa]
Copertura	-39.98	-8.52	100	38	1φ16/20	1φ16/20	131.90	-13.87	-3.06
Platea di base	15.21	0.00	100	85	1φ16/20	1φ16/20	20.07	-2.27	-0.26
Muro posteriore	30.63	-65.20	100	50	1φ16/20	1φ16/20	44.16	-12.19	-1.38
Muro frontale	32.87	-67.96	100	50	1φ16/20	1φ16/20	48.28	-12.99	-1.48
Muro destro	27.12	-57.35	100	50	1φ16/20	1φ16/20	39.27	-10.78	-1.22
Muro sinistro	26.49	-60.74	100	50	1φ16/20	1φ16/20	36.30	-10.72	-1.19

Tabella 19: Analisi tensionale: Combinazione rara.

Analisi tensionale SLE									
Elemento	M _{max} [kNm]	N _{corrisp} [kN]	b [cm]	h [cm]	A _{s,sup}	A _{s,inf}	σ _s [MPa]	σ _{s'} [MPa]	σ _{c,max} [MPa]
Copertura	-37.69	-7.14	100	38	1φ16/20	1φ16/20	124.80	-12.89	-2.88
Platea di base	-16.28	0.00	100	85	1φ16/20	1φ16/20	21.68	-2.05	-0.29
Muro posteriore	30.15	-60.12	100	50	1φ16/20	1φ16/20	45.26	-11.82	-1.36
Muro frontale	29.95	-59.92	100	50	1φ16/20	1φ16/20	44.87	-11.75	-1.35
Muro destro	25.01	-51.76	100	50	1φ16/20	1φ16/20	36.71	-9.89	-1.13
Muro sinistro	24.84	-53.32	100	50	1φ16/20	1φ16/20	35.62	-9.90	-1.12

Tabella 20: Analisi tensionale: Combinazione quasi permanente.

Dove:

$\sigma_{c,max}$ massima tensione nel calcestruzzo compresso

σ_s tensione in corrispondenza dell'armatura tesa

$\sigma_{s'}$ tensione in corrispondenza dell'armatura compressa

Sono state considerate negative le tensioni in zona compressa e positive le tensioni relative all'armatura tesa.

Le tensioni in esercizio sono sempre inferiori ai limiti sopra indicati; pertanto, le verifiche risultano soddisfatte. Inoltre, poiché le tensioni di compressione non superano la limitazione $0.45 f_{ck}$ per la combinazione rara, si ottiene che la verifica per la combinazione quasi-permanente è implicitamente verificata.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 43 di 186

5.6 Progetto delle travi di appoggio del carroponte

Il carroponte, usato per il montaggio e la manutenzione delle paratoie, sarà sostenuto da due travi d'acciaio che a loro volta poggeranno su mensole in cemento armato in corrispondenza delle pareti della camera di manovra. Poiché le mensole saranno realizzate in una seconda fase di getto, fra quest'ultime ed i muri verticali si andrà a costituire un giunto freddo di costruzione.

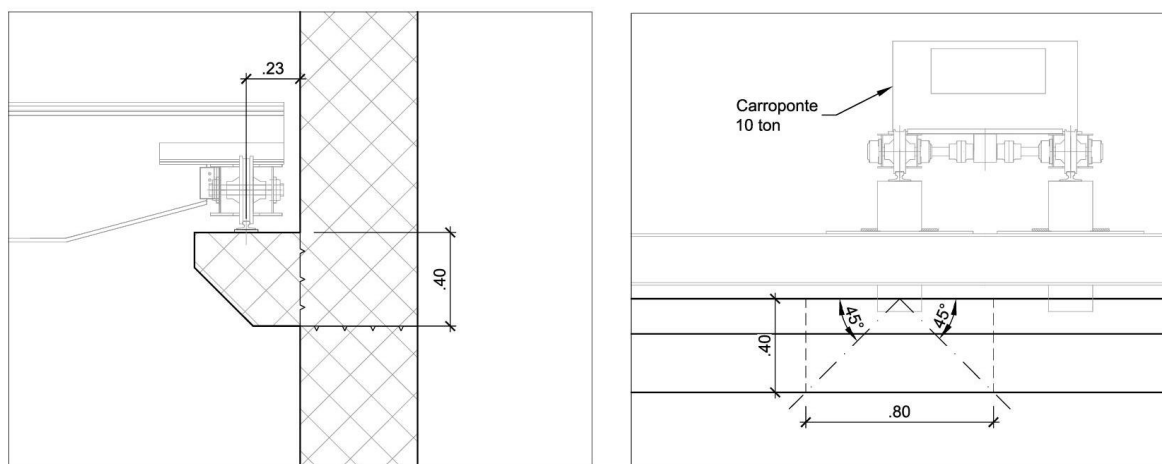


Figura 14: Sezione e prospetto della staffa.

Pertanto, si eseguirà un'analisi della resistenza al taglio del blocco della mensola come indicato nell'Eurocodice [19] al capitolo 6.2.5. La tensione tangenziale all'interfaccia tra calcestruzzi gettati in tempi diversi deve soddisfare la seguente espressione:

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

dove:

- V_{Edi} valore di progetto dello sforzo di taglio agente all'interfaccia [kN]
- V_{Rdi} resistenza di progetto a taglio [kN]

V_{Edi} si calcola mediante la seguente formula:

$$V_{Edi} = \beta \cdot V_{Ed} / (z \cdot b_i)$$

dove:

β rapporto tra la forza longitudinale nell'ultimo getto di calcestruzzo e la forza longitudinale totale in zona compressa o tesa, entrambe calcolate nella sezione considerata

V_{Ed} forza di taglio trasversale

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 44 di 186

z braccio della coppia interna della sezione composita

b_i larghezza dell'interfaccia

La resistenza di progetto a taglio è invece data dalla seguente espressione:

$$V_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$$

dove:

f_{ctd} resistenza a trazione del calcestruzzo

σ_n tensione prodotta dalla forza esterna agente nell'interfaccia

$\rho = A_s/A_i$ rapporto tra l'area di armatura che attraversa l'interfaccia, compresa l'ordinaria armatura a taglio A_s e l'area del giunto A_i

α inclinazione tra il rinforzo e la superficie del calcestruzzo

f_{cd} resistenza a compressione del calcestruzzo

v coefficiente di riduzione del calcestruzzo assunto pari a 0.6 per $f_{ck} \leq 60$ MPa, 0.90 per $f_{ck} \geq 60$ Mpa

c, μ parametri tabellati in funzione della scabrezza dell'interfaccia

Superficie	c	μ
Molto liscia	0.25	0.50
Liscia	0.35	0.60
Rugosa	0.45	0.70
Dentata	0.50	0.80

Tabella 21: Fattori c e μ [19].

I carichi verticali e orizzontali dovuti alle azioni del carroponte sono ottenuti secondo [19] e riportati di seguito:

$Q_c = 20$ kN peso proprio della gru

$Q_h = 100$ kN carico massimo di progetto

$v_h = 0.25$ m/s velocità media della gru, ottenuta tramite [21]

H_T forze trasversali prodotte da accelerazione e decelerazione della gru

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 45 di 186

Per calcolare H_T si utilizza la formula 2.3 indicata nella norma UNI EN 1991-3 [21], ottenendo:

$$H_{T,1} = 8.10 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = 93.26 \text{ kN}$$

Nel caso in esame, i carichi appena elencati dovranno essere amplificati secondo i fattori suggeriti in tabella 2.2 del [21] e riportati in seguito:

		Simbolo	SLU		
			1	2	4
1	Peso proprio della gru	Q_c	1.10	1.10	1.00
2	Portata del montacarichi	Q_h	1.09	1.00	1.00
4	Accelerazione del ponte della gru	H_T	1.50	1.50	1.50

Tabella 22: Combinazioni di carico per la verifica strutturale delle travi di appoggio del carroponete.

La combinazione di carico 1 risulta essere la più critica; considerando dunque una $V_{Rdt} = 5.22 \text{ MPa}$ e, in accordo con la **Figura 14**, un'area di applicazione del carico di $0.73 \times 0.40 \text{ m}$ si ottiene una forza resistente pari a:

$$V_{Rd} = 499.95 \text{ kN}$$

Il taglio agente si ottiene sommando Q_c e Q_h con la combinazione allo SLU ottenendo:

$$V_{Ed} = 131.00 \text{ kN}$$

La resistenza a taglio risulta superiore al taglio agente, pertanto la verifica è soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a 3.81.

Per verificare l'azione di trazione agente sull'armatura si valuta il momento generato dalla forza verticale che sarà pari a:

$$M = P_v \cdot b$$

dove:

P_v azione verticale [kN]

b braccio della forza pari a 0.225 m (vedi **Figura 14**)

Si ottiene un momento di 59 kNm, che diviso per un braccio di 0.30 m fornisce un'azione orizzontale $T_M = 197 \text{ kN}$.

La forza totale orizzontale T_U , pari alla somma di T_M e H_T è pari a 290.26 kN.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 46 di 186	

Considerata un'armatura costituita da barre $\phi 16$ mm con passo 20 cm ed una larghezza di progetto di 80 cm (distribuzione degli sforzi a 45°), saranno presenti 4 barre in corrispondenza dello spessore della mensola. Il carico ammissibile delle tre barre è pari a:

$$T_s = f_{yd} \cdot A_s = 391.30 \text{ MPa} \cdot 8.04 \text{ cm}^2 = 314.70 \text{ kN}$$

La forza resistente T_s è superiore a T_U pertanto la verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a 1.08.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 47 di 186

6. CALCOLO DEL SALTO DI SCI

Al fine di garantire una corretta evacuazione delle portate e la dissipazione dell'energia cinetica del flusso d'acqua in uscita dal nuovo scarico di fondo si prevede la realizzazione di un salto di sci a valle della camera di manovra delle paratoie. Il tratto terminale sarà deviato di 3° rispetto alla direzione monte-valle, al fine di evitare che il getto d'acqua in uscita vada ad impattare contro lo sperone in roccia sulla sponda destra, su cui si ubica il cosiddetto "edificio Torretta".

Il salto di sci sarà fondato su una struttura verticale di supporto cementata su roccia (vedi **Figura 15**) e sarà protetto da un blindaggio metallico annegato nel calcestruzzo. Tale soluzione è volta a prevenire la potenziale erosione del calcestruzzo dovuta alle alte velocità del flusso in uscita.

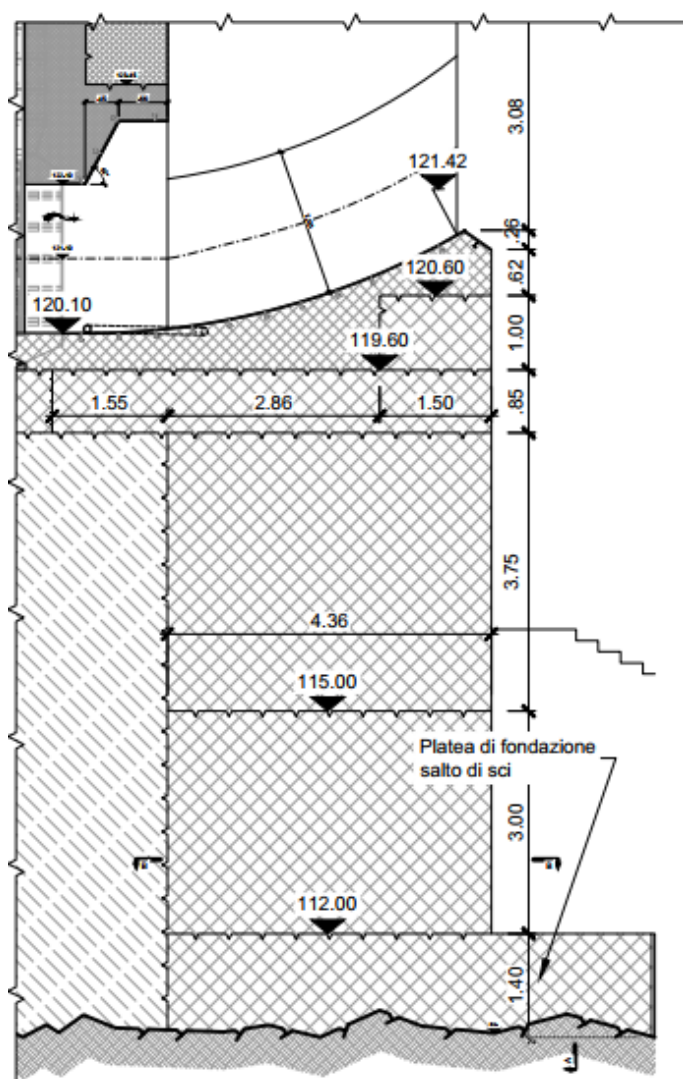


Figura 15: Sezione trasversale del salto di sci.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 48 di 186	

6.1 Analisi dei carichi e combinazioni di carico

6.1.1 *Peso proprio*

L'azione dovuta al peso proprio della struttura è stata calcolata considerando un peso specifico del calcestruzzo pari a $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$.

6.1.2 *Verifica della pressione idraulica nel salto*

Il carico idrodinamico è stato calcolato in accordo con le indicazioni fornite nel documento progettuale [10], al capitolo 5.3.6, attraverso le quali si ottiene una pressione pari a 120 kN/m^2 .

6.1.3 *Azione sismica di progetto*

Si ipotizza che il salto di sci in progetto sia solidale con la diga e con la camera di manovra in progetto. Pertanto, sarà sottoposta alla stessa azione sismica definite al paragrafo 5.1.8.

6.1.4 *Combinazioni di carico*

Le azioni definite ai paragrafi precedenti sono state combinate in modo da tener conto di tutte le possibili situazioni che possano ragionevolmente essere previste durante l'esecuzione e l'esercizio dell'opera in progetto.

Nel caso in questione, pertanto, si considerano le seguenti combinazioni di calcolo:

- C1. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione e scarico di fondo chiuso (SLU Fondamentale)
- C2. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione e scarico di fondo aperto (SLU Fondamentale)
- C3. Serbatoio pieno, con livello al massimo invaso rivalutato e scarico di fondo aperto (SLU Eccezionale)
- C4. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione e scarico di fondo aperto (SLE-Rara)
- C5. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione (Sisma-SLD)
- C6. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione (Sisma-SLV)

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 50 di 186

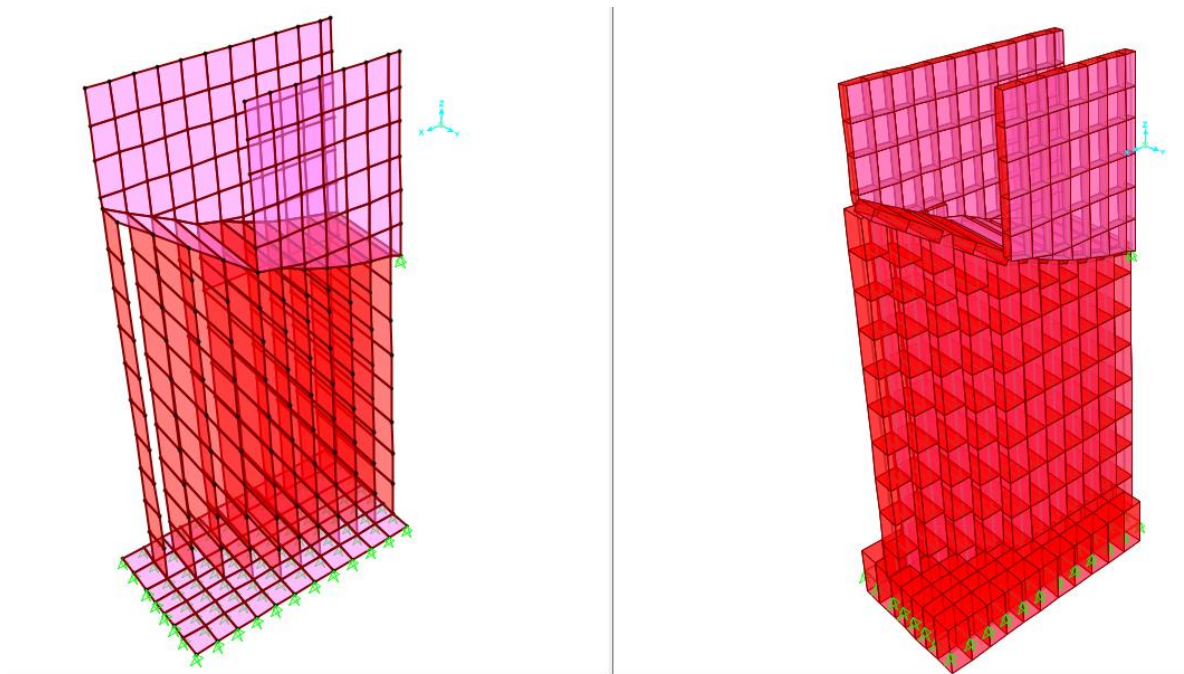


Figura 16: Vista 3D del modello di calcolo del salto di sci.

6.3 Calcolo delle sollecitazioni

Le sollecitazioni sono state calcolate considerando i carichi descritti al paragrafo 6.1 amplificati per i relativi coefficienti parziali, in ottemperanza delle NTC 2018.

Per fini pratici, si divide la struttura del salto di sci nei seguenti elementi strutturali:

- Platea di fondazione
- Muro sinistro
- Muro destro
- Struttura verticale di supporto

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i risultati dei calcoli eseguiti per gli elementi considerati in termini di caratteristiche di sollecitazioni massime. Si riportano solo i risultati ottenuti per la combinazione più gravosa, ovvero quella che genera le massime sollecitazioni.

La convenzione assunta per gli assi e per il segno delle sollecitazioni agenti è coerente a quanto già indicato al paragrafo 5.3.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 51 di 186	

SLU								
Elemento	M ₁₁ [kNm]	M ₁₁ [kNm]	M ₂₂ [kNm]	M ₂₂ [kNm]	N [kN]	N [kN]	V [kN]	Combinazione
Platea di fondazione	-7.25	9.02	-13.08	14.84	0.00	0.00	21.82	C3
Muro sinistro	-8.15	2.84	-10.08	6.57	-193.82	127.21	33.87	C3
Muro destro	-4.58	3.71	-17.61	8.72	-308.25	250.01	33.07	C3
Struttura verticale di supporto	-8.04	35.86	-17.15	34.51	-460.72	470.55	13.65	C3

Tabella 24: Caratteristiche di sollecitazione massima ottenute tra tutte le combinazioni allo SLU.

SLE								
Elemento	M ₁₁ [kNm]	M ₁₁ [kNm]	M ₂₂ [kNm]	M ₂₂ [kNm]	N [kN]	N [kN]	V [kN]	Combinazione
Platea di fondazione	-4.59	4.16	-6.49	1.39	0.00	0.00	7.33	C4
Muro sinistro	-0.84	0.40	-1.05	1.51	-121.45	47.57	2.79	C4
Muro destro	-0.30	0.63	-1.06	1.36	-130.27	69.02	1.56	C4
Struttura verticale di supporto	-0.019	0.87	-2.88	22.23	-224.78	31.59	1.05	C4

Tabella 25: Caratteristiche di sollecitazione ottenute per la combinazione SLE Rara.

6.4 Verifiche allo SLU

Le verifiche allo stato limite ultimo sono condotte considerando i valori massimi, positivi e negativi, delle sollecitazioni ottenute secondo le due direzioni principali e riportate in **Tabella 26**.

SLU									
Elemento	M ₁₁ [kNm]	N [kN]	M ₁₁ [kNm]	N [kN]	M ₂₂ [kNm]	N [kN]	M ₂₂ [kNm]	N [kN]	V [kN]
Platea di fondazione	-7.25	0.00	9.02	0.00	-13.08	0.00	14.84	0.00	21.82
Muro sinistro	-8.15	-182.31	2.84	68.92	-6.38	-193.82	6.57	127.21	33.87
Muro destro	-4.58	-308.25	3.71	147.19	-17.61	-108.65	8.72	250.01	33.07
Struttura verticale di supporto	-8.04	-460.72	35.86	405.19	-17.15	-95.56	16.60	470.55	13.65

Tabella 26: Sforzi massimi agenti nelle due direzioni principali allo SLU.

6.4.1 Verifica a pressoflessione

All'interno del presente paragrafo si mostrano le verifiche di presso-flessione allo stato limite ultimo per i vari elementi strutturali in analisi. Il copriferro, anche in questo caso è assunto pari a 50 mm.

Noti i seguenti parametri di progetto:

- A_s armatura tesa

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 52 di 186

- $A_{s,r}$ armatura compressa
- b base della sezione
- h altezza della sezione

è stato possibile, attraverso l'utilizzo del software VcaSlu, definire il dominio di resistenza della sezione tipica di ciascun elemento e confrontarlo con gli sforzi agenti. Le verifiche sono riportate nelle figure successive.

Elemento	A_s	A_s	b [cm]	h [cm]
Platea di fondazione	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	135

Tabella 27: Caratteristiche sezione tipo della lastra di fondazione per verifica a presso-flessione.

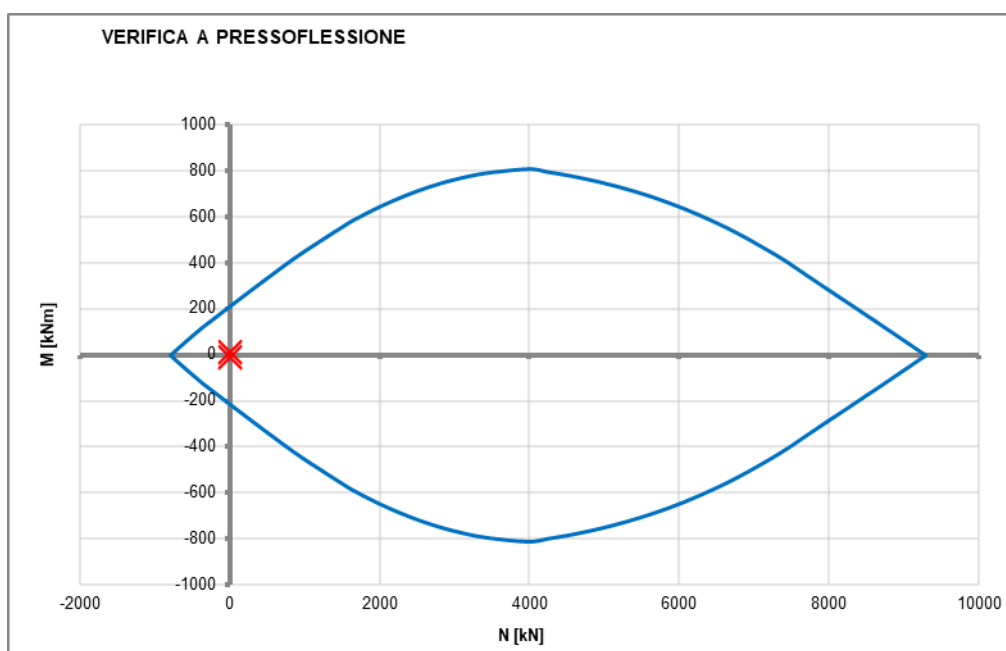


Figura 17: Dominio di resistenza per la sezione tipo della platea di fondazione.

La totalità delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

Come si può osservare dalla **Figura 17**, le forze assiali e di momento sono di bassa entità. Pertanto, la sezione è armata solo come misura conservativa per evitare fenomeni fessurativi.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 53 di 186

Elemento	A_s	A_s	b [cm]	h [cm]
Muro sinistro	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	30

Tabella 28: Caratteristiche sezione tipo del muro sinistro del salto. per verifica a presso-flessione.

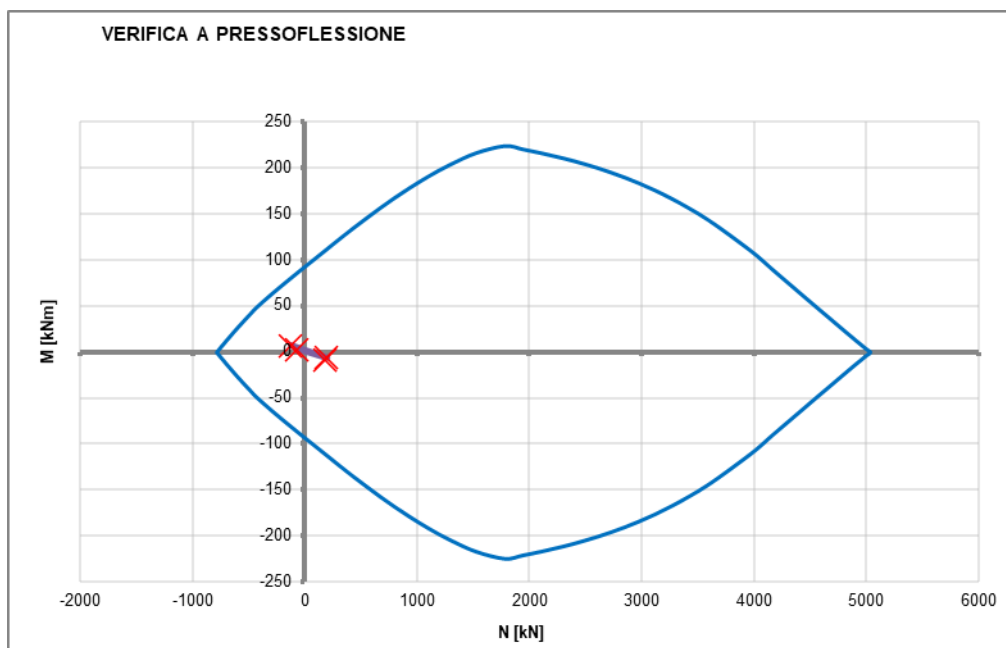


Figura 18: Dominio di resistenza per la sezione tipo del muro sinistro del salto.

La totalità delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 54 di 186

Elemento	A_s	A_s	b [cm]	h [cm]
Muro destro	$\phi 16 / 20 \text{ cm}$	$\phi 16 / 20 \text{ cm}$	100	30

Tabella 29: Caratteristiche sezione tipo del muro destro del salto per verifica a presso-flessione.

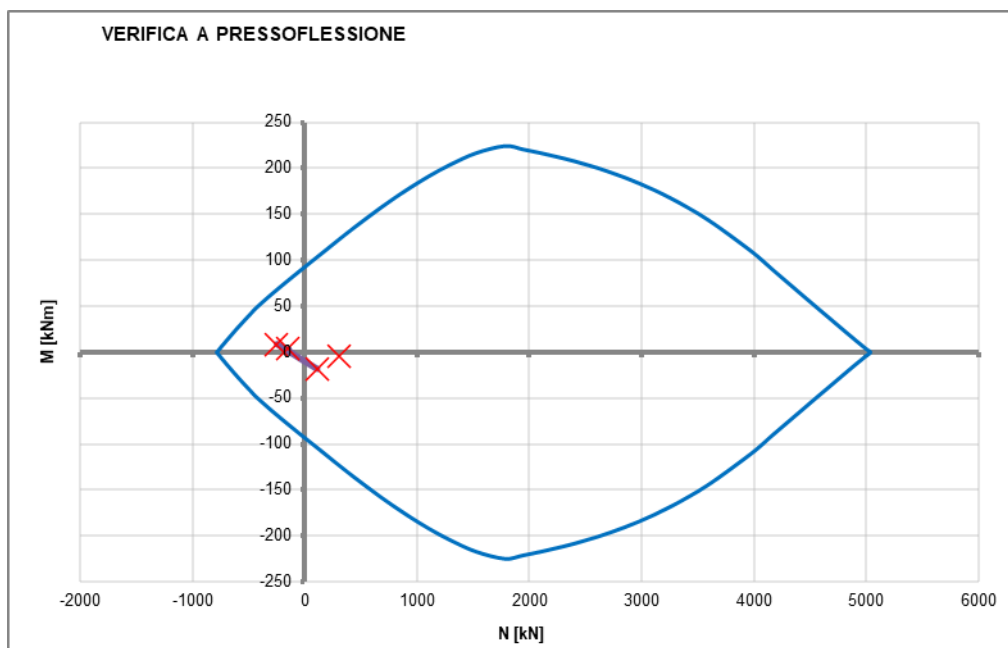


Figura 19: Dominio di resistenza per la sezione tipo del muro destro del salto.

La totalità delle coppie M_{Ed} , N_{Ed} agenti sono interne al dominio di resistenza, la verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 55 di 186

Elemento	A_s	A_s	b [cm]	h [cm]
Struttura verticale di supporto	$\phi 16 / 20$ cm	$\phi 16 / 20$ cm	100	60

Tabella 30: Caratteristiche sezione tipo della struttura di supporto del salto per verifica a presso-flessione.

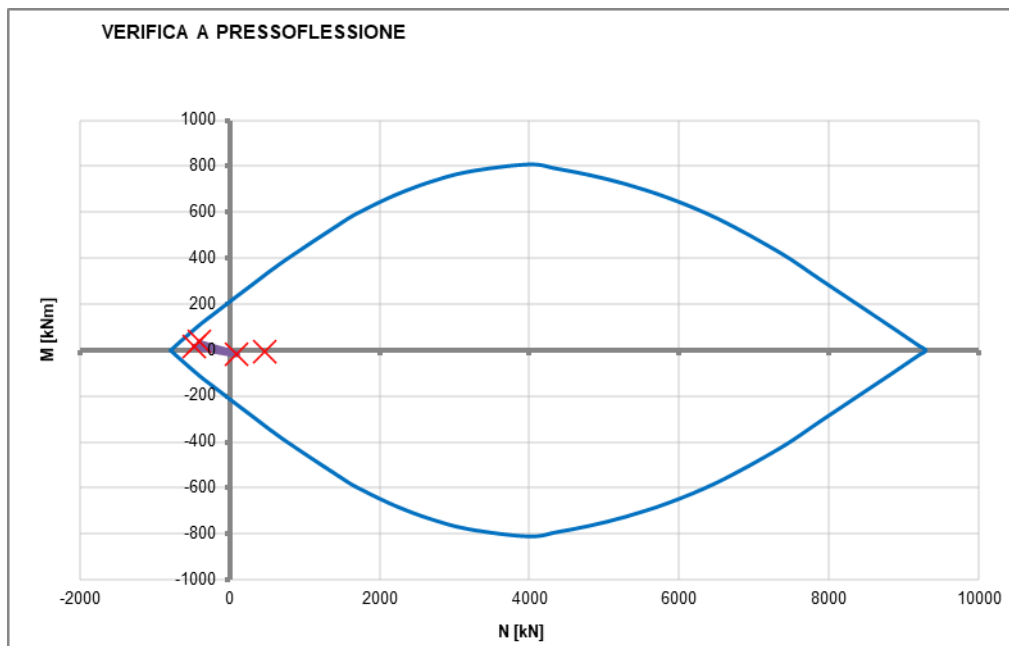


Figura 20: Dominio di resistenza per la sezione tipo della struttura verticale di supporto del salto.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 56 di 186	

6.4.2 Verifiche a taglio

La verifica di resistenza a taglio allo SLU è definita tramite la procedura descritta precedentemente al paragrafo 5.4.2.

Nel presente caso, si assume un'altezza utile della sezione ai fini del taglio pari a 1'000 mm.

Le verifiche di resistenza a taglio si riportano in **Tabella 31**:

Elemento	Unità di misura	Platea di fondazione	Muro destro	Muro sinistro	Struttura di supporto
Sezione	[b x h]	1.00x1.35 m	1.00x0.30 m	1.00x0.30 m	1.00x0.60 m
γ_c	[-]	1.50	1.50	1.50	1.50
R_{ck}	[N/mm ²]	30	30	30	30
f_{ck}	[N/mm ²]	25	25	25	25
b_w	[mm]	1000	1000	1000	1000
d	[mm]	1290	240	240	540
σ_{cp}	[N/mm ²]	0.00	0.00	0.00	0.00
A_s	[mm ²]	1005	1005	1005	1005
ρ_1	[-]	0.001	0.004	0.004	0.002
k	[-]	1.39	1.91	1.91	1.61
V_{Rd}	[kN]	269	120	120	174
$V_{Rd,min}$	[kN]	371	111	111	192
$V_{Rd,eff}$	[kN]	371	120	120	192
V_{Sd}	[kN]	21.82	33.87	33.07	13.65
FS	[-]	16.99 ✓	3.55 ✓	3.64 ✓	14.10 ✓

Tabella 31: Verifica a taglio del salto di sci.

6.5 Verifiche a SLE

Le verifiche allo stato limite di esercizio sono condotte considerando le sollecitazioni definite in precedenza nella **Tabella 25**.

6.5.1 Stato limite fessurativo

Conformemente a quanto indicato nelle NT2018, paragrafo 4.1.2.2.4 si deve verificare che il valore limite di apertura della fessura sia $w_1 \leq 0.2\text{mm}$.

In **Tabella 32** sono riportati i risultati delle verifiche di fessurazione per la combinazione rara.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 57 di 186

Verifiche a fessurazione SLE									
Elemento	M _{max} [kNm]	N _{corrisp} [kN]	b [cm]	h [cm]	A _{s,sup/esterno}	A _{s,inf/interno}	W _d [mm]	W _i [mm]	W _d < W _i
Platea di fondazione	-6.49	0.00	100	135	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Muro sinistro	-1.05	-121.45	100	30	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Muro destro	1.36	-130.27	100	30	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓
Struttura di supporto	22.23	-224.78	100	60	1φ16/20	1φ16/20	-	0.2	✓

Tabella 32: Verifiche a fessurazione, combinazione SLE rara.

Dalla precedente tabella si osserva che le verifiche di fessurazione sono soddisfatte per i vari elementi strutturali in analisi costituenti il salto di sci.

6.5.2 Analisi tensionale

Una volta valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alla combinazione rara, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo che nelle armature attraverso il software VcaSlu. Le condizioni da verificare sono quelle descritte precedentemente nel capitolo 5.5.1.

Nella **Tabella 33** sono riportate le verifiche tensionali realizzate per la combinazione caratteristica rara.

Analisi tensionale SLE									
Elemento	M _{max} [kNm]	N _{corrisp} [kN]	b [cm]	h [cm]	A _{s,sup}	A _{s,inf}	σ _s [MPa]	σ _{s'} [MPa]	σ _{c,max} [MPa]
Piastra di fondazione	-6.49	0.00	100	135	1φ16/20	1φ16/20	5.23	-0.34	-0.05
Parete corta	-1.05	-121.45	100	30	1φ16/20	1φ16/20	-	-6.09	-0.43
Parete lunga	1.36	-130.27	100	30	1φ16/20	1φ16/20	-	-6.67	-0.48
Pilastro in cemento	22.23	-224.78	100	60	1φ16/20	1φ16/20	-	-9.43	-0.69

Tabella 33: Analisi tensionale: Combinazione rara.

dove:

σ_{c,max} massima tensione nel calcestruzzo compresso

σ_s tensione in corrispondenza dell'armatura tesa

σ_{s'} tensione in corrispondenza dell'armatura compressa

Sono state considerate negative le tensioni in zona compressa e positive le tensioni relative all'armatura tesa.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 58 di 186	

Le tensioni in esercizio sono sempre inferiori dei limiti sopra indicati; pertanto, le verifiche allo stato tensionale risultano soddisfatte.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 59 di 186

7. DIMENSIONAMENTO DEL BLINDAGGIO

Nel presente capitolo si presentano i calcoli di dimensionamento e verifica del blindaggio della parte terminale dello scarico, a monte delle paratoie. La funzione del blindaggio è quella di resistere alla pressione generata dall'acqua contenuta nell'invaso e di proteggere il calcestruzzo all'esterno di esso. Si prevede l'installazione di un blindaggio irrigidito da profili a "T" disposti ad interasse quindici centimetri e di spessore 15 mm, con il fine di favorire l'ancoraggio con il calcestruzzo e fornire maggiore rigidità alla lamiera in acciaio di rivestimento del vano.

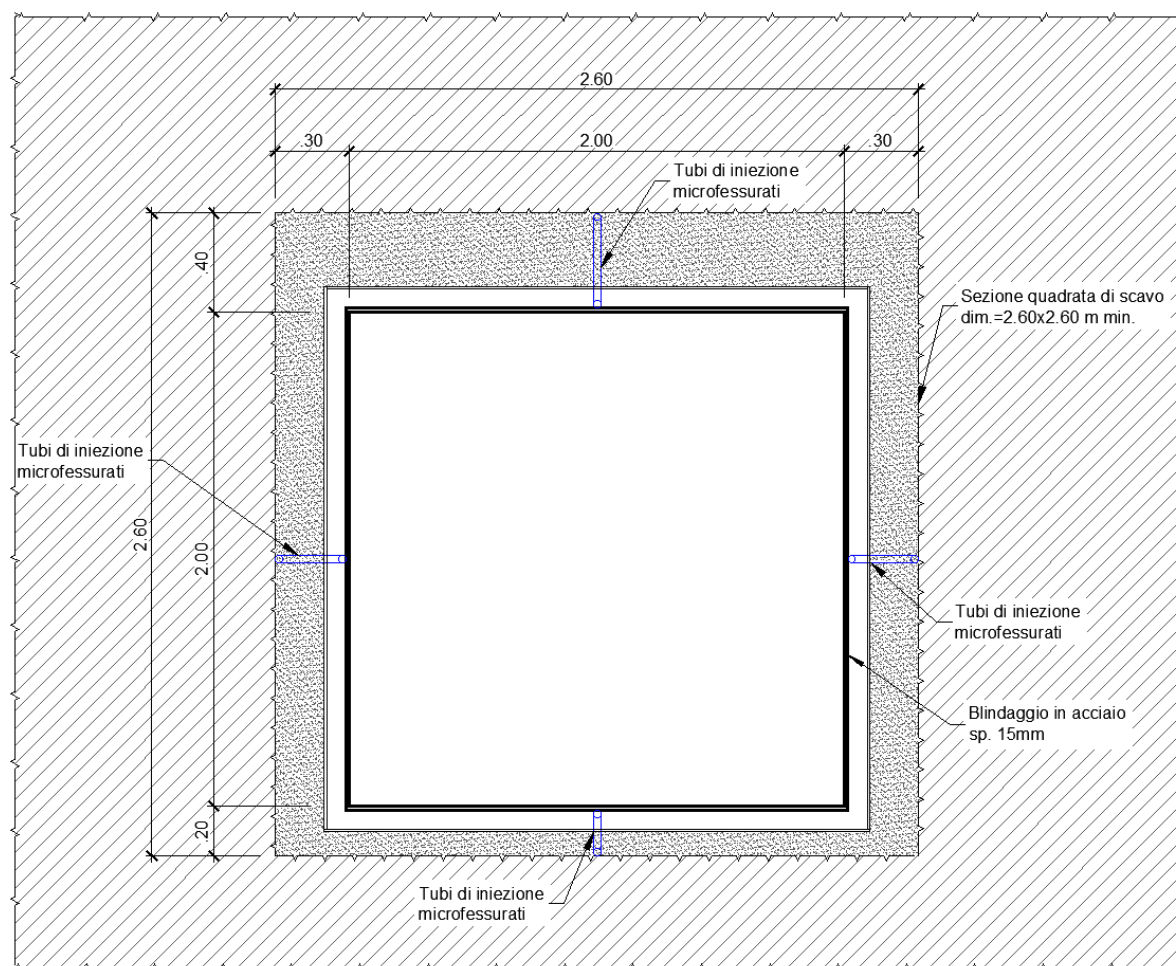


Figura 21: Sezione trasversale del blindaggio a monte delle paratoie.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 60 di 186

7.1 Analisi dei carichi e combinazioni di carico

7.1.1 Peso proprio

L'azione dovuta al peso proprio della struttura è stata calcolata considerando un acciaio di tipo 355 che presenta un peso specifico di 78.50 kN/m³.

7.1.2 Spinta idrostatica

Per il calcolo della spinta idrostatica dell'acqua valgono le considerazioni del paragrafo 5.1.2.

7.1.3 Pressione esterna

Si considera solo uno scenario di carico in cui agisce unicamente la pressione esterna residua. Il valore è calcolato come la differenza di pressione tra il serbatoio alla quota di massima regolazione (164.00 m s.l.m.) e il serbatoio alla quota di minima regolazione (143.00 m s.l.m.). Si ottiene pertanto un valore di colonna d'acqua equivalente pari a 21 m.

7.1.4 Combinazioni di carico

Le azioni definite ai paragrafi precedenti sono state combinate in modo da tener conto di tutte le possibili situazioni che possano ragionevolmente essere previste per il blindaggio durante l'esercizio dello scarico.

Nel caso in questione, pertanto, si considerano le seguenti combinazioni di calcolo (vedi **Tabella 34**):

- C1. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione e scarico di fondo chiuso (SLU Fondamentale)
- C2. Serbatoio pieno, con livello al massimo invaso rivalutato e scarico di fondo chiuso (SLU Eccezionale)
- C3. Scarico di fondo aperto, con libello d'invase alla massima regolazione (Eccezionale)
- C4. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione (SLE-Rara)

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 61 di 186

	Carico	SLU			SLE
		Scarico chiuso – massima regolazione	Scarico chiuso – invaso massimo	Scarico aperto – pressione esterna	Rara
G1	Proprio peso	1.30	1.00	1.00	1.00
G2	Pressione idrostatica – massima regolazione	1.50	-	-	1.00
G2	Pressione idrostatica – massimo invaso	-	1.00	-	-
G2	Pressione esterna	-	-	1.00	-
	Combinazione	C1	C2	C3	C4

Tabella 34: Combinazioni di carico per il dimensionamento del blindaggio.

7.2 Modello di calcolo

Il modello di calcolo, realizzato utilizzando il software agli elementi finiti SAP2000 v18, consiste in una serie di elementi bidimensionali di tipo “frame”. La sezione di verifica del blindaggio, definita considerando un interasse di 50 cm tra i profili a T, si mostra in **Figura 22**. I parametri geometrici utilizzati sono i seguenti:

- Spessore piastra metallica 1.5 cm
- Larghezza della trave a T nella parte superiore 50 cm
- Larghezza della trave a T nella parte inferiore 10 cm
- Altezza dell'anima della trave 12 cm

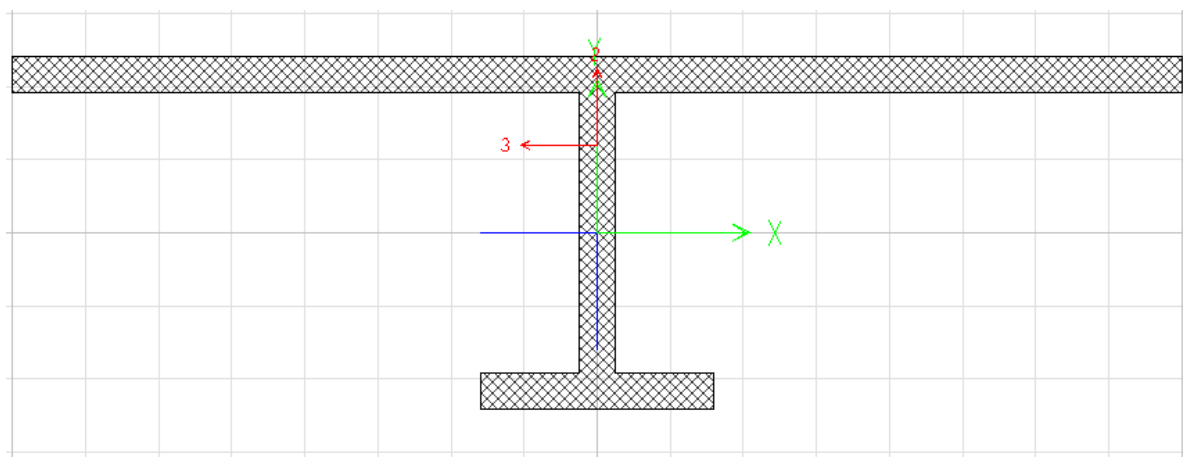


Figura 22: Sezione trasversale del blindaggio.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 63 di 186

La convenzione degli assi è la seguente: asse locale 1-1 in rosso, asse locale 2-2 in verde, asse locale 3-3 in ciano (vedi Allegati). L'asse 3-3 è perpendicolare alla superficie del blindaggio, ovvero parallelo al flusso d'acqua.

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i risultati dei calcoli eseguiti per il blindaggio in termini di caratteristiche di sollecitazioni massime. Tra tutte le combinazioni al SLU, si riporta solo quella che genera le massime sollecitazioni. Tale combinazione è indicata nelle ultime colonne di **Tabella 35** e **Tabella 36**.

SLU						
Elemento	M ₃₃ [kNm]	M ₃₃ [kNm]	N [kN]	N [kN]	V [kN]	Combinazione
Blindaggio	-29.41	58.44	-174.28	72.24	175.10	C2

Tabella 35: Caratteristiche di sollecitazione massima ottenute tra tutte le combinazioni allo SLU.

SLE						
Elemento	M ₃₃ [kNm]	M ₃₃ [kNm]	N [kN]	N [kN]	V [kN]	Combinazione
Blindaggio	-12.00	2.82	-	72.24	71.93	C4

Tabella 36: Caratteristiche di sollecitazione ottenute per la combinazione SLE Rara.

7.4 Verifica a SLU

Le verifiche allo stato limite ultimo sono condotte considerando i valori massimi, positivi e negativi, di sollecitazione mostrati in **Tabella 35**.

7.4.1 Verifica a flessione

In accordo con quanto indicato al paragrafo 4.2.4.1.2.3 delle NTC2018 si verifica che sia rispettata la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

M_{Ed} momento flettente agente di progetto

$M_{c,Rd}$ momento flettente resistente di progetto

Il primo è ottenibile dalla seguente relazione:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 64 di 186

$$M_{Ed} = \frac{f_{yk} \cdot W_{pl}}{\gamma_{M0}}$$

dove:

$f_{yk} = 355$ MPa resistenza caratteristica di snervamento dell'acciaio

$W_{pl} = 250.20$ cm³ modulo elastico della sezione

$\gamma_{M0} = 1.15$ fattore parziale di sicurezza sulla resistenza dell'acciaio

Con questi parametri si ottiene un momento resistente di 77.24 kNm che, raffrontato con un momento agente pari a 58.44 kNm, genera un fattore di sicurezza pari a 1.32. La verifica risulta pertanto soddisfatta.

7.4.2 Verifica a taglio

In accordo con quanto indicato al paragrafo 4.2.4.1.2.4 delle NTC2018 si verifica che sia rispettata la seguente condizione:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

V_{Ed} taglio agente di progetto

$V_{c,Rd}$ taglio resistente di progetto

Il primo è ottenibile dalla seguente relazione:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_{yk}/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

dove:

$A_v = 108$ cm² area della sezione

$f_{yk} = 355$ MPa resistenza caratteristica di snervamento dell'acciaio

$\gamma_{M0} = 1.15$ fattore parziale di sicurezza sulla resistenza dell'acciaio

Con questi parametri si ottiene un taglio resistente di 1'925 kN che, confrontato con un taglio agente di 175.10 kN genera un fattore di sicurezza pari a 11. La verifica risulta pertanto soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 65 di 186

7.5 Verifiche a SLE

Le verifiche allo stato limite di esercizio sono condotte considerando i valori di sollecitazione ottenuti in precedenza e riportate in **Tabella 37**.

La verifica allo SLE consiste nel controllare le deformazioni del blindaggio. I limiti di deformabilità degli elementi metallici sono indicati al paragrafo 4.2.4.2.2 delle NTC2018. Nel caso in esame si è assunto come valore massimo $L/500$, dove L è la lunghezza di un lato del blindaggio. Data una lunghezza di inflessione di 2 metri, il limite di deflessione ammissibile è di 0.40 cm.

Le deformazioni ottenute con la combinazione SLE sono riassunte nella seguente tabella:

SLE	
Elemento	δ [cm]
Lati verticali	0.025
Lati orizzontali	0.025

Tabella 37: Deformazioni massime degli elementi del blindaggio.

Le deformazioni sono inferiori al limite ammissibile, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 66 di 186

8. CALCOLO DEI BLOCCHI DI ANCORAGGIO

8.1 Blocco di ancoraggio in corrispondenza del gomito

Il blocco di ancoraggio ha lo scopo di assorbire le forze generate dal cambio di direzione verticale ed orizzontale della condotta (18.24°) in prossimità del vertice T-2. La forza risultante deve poter essere assorbita dalla diga evitando che si creino fratture nella muratura.

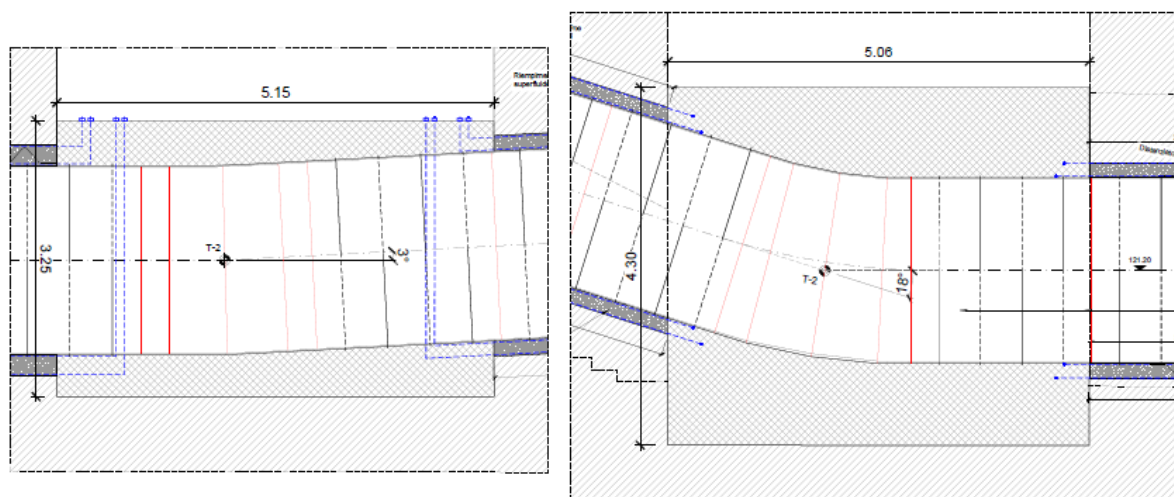


Figura 24: Vista in pianta (sinistra) e sezione longitudinale (destra) del blocco di ancoraggio.

8.1.1 Analisi dei carichi e combinazioni di carico

8.1.1.1 Peso proprio

L'azione dovuta al peso proprio del blocco è stata calcolata considerando un peso specifico del calcestruzzo pari a $\gamma_m = 25 \text{ kN/m}^3$. Con un volume di 54.28 m^3 , si ottiene un peso totale di $1'357 \text{ kN}$.

8.1.1.2 Spinta idrostatica

Per il calcolo della spinta idrostatica dell'acqua valgono le considerazioni del capitolo 5.1.2.

8.1.1.3 Forza risultante agente sul blocco di ancoraggio

Considerando i livelli d'acqua definiti nel paragrafo 8.1.1.2, una portata massima di efflusso di $90 \text{ m}^3/\text{s}$ ed una velocità di 23.68 m/s , le forze di progetto vengono ricavate sulla base della seguente formulazione.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 68 di 186

$R = 1'205.15 \text{ kN}$

forza risultante

Data la geometria del cambio di direzione della condotta, la direzione della risultante è pressoché rivolta verso il basso. Ciò fa sì che si generi una pressione alla base del blocco.

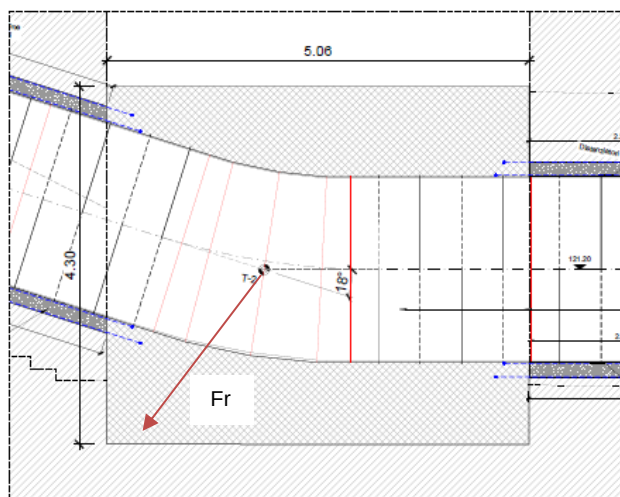


Figura 26: Rappresentazione della forza risultante agente sul blocco di ancoraggio.

8.1.1.4 Combinazioni di carico

Le azioni definite ai paragrafi precedenti sono state combinate in modo da tener conto di tutte le possibili situazioni che possano ragionevolmente essere previste durante sul blocco di ancoraggio durante l'esercizio.

Nel caso in questione, pertanto, si considerano le seguenti combinazioni di calcolo (vedi **Tabella 38**):

- C1. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione e scarico di fondo aperto (SLU Fondamentale)
- C2. Serbatoio pieno, con livello al massimo invaso rivalutato e scarico di fondo aperto (SLU Eccezionale)
- C3. Serbatoio pieno, con livello alla massima regolazione (SLE-Rara)

Non si assumono combinazioni sismiche poiché, essendo il blocco una struttura molto rigida, non ci si aspettano degli spostamenti relativi rispetto alla diga.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 69 di 186

	Carico	SLU		SLE
		Scarico aperto - massima regolazione	Scarico aperto – massimo invaso	Rara
G1	Proprio peso	1.30	1.00	1.00
G2	Livello invaso massima regolazione	1.50	-	1.00
G2	Livello massimo invaso	-	1.00	-
	Combinazione	C1	C2	C3

Tabella 38: Combinazioni di carico per la verifica del blocco di ancoraggio.

I carichi di tipo G2 sono caratterizzati sia dalla componente statica sia dalla componente cinetica dell'acqua all'interno della tubazione.

8.1.2 Modello di calcolo

Ai fini dei calcoli è stato realizzato un modello della sezione trasversale del blocco prendendo in considerazione uno spessore di 20 cm ed un'armatura $\phi 16/20$ cm. Il modello di calcolo, realizzato utilizzando il software agli elementi finiti SAP2000 v18, prevede la presenza di elementi bidimensionale tipo "frame" di sezione trasversale 14x20 cm. Lo spessore degli elementi frame è stato assunto pari a 20 cm conformemente alla spaziatura delle armature. Essendo il blocco una struttura di tipo tozzo, l'analisi dello stato di sollecitazioni viene eseguito mediante un modello tirante-puntone.

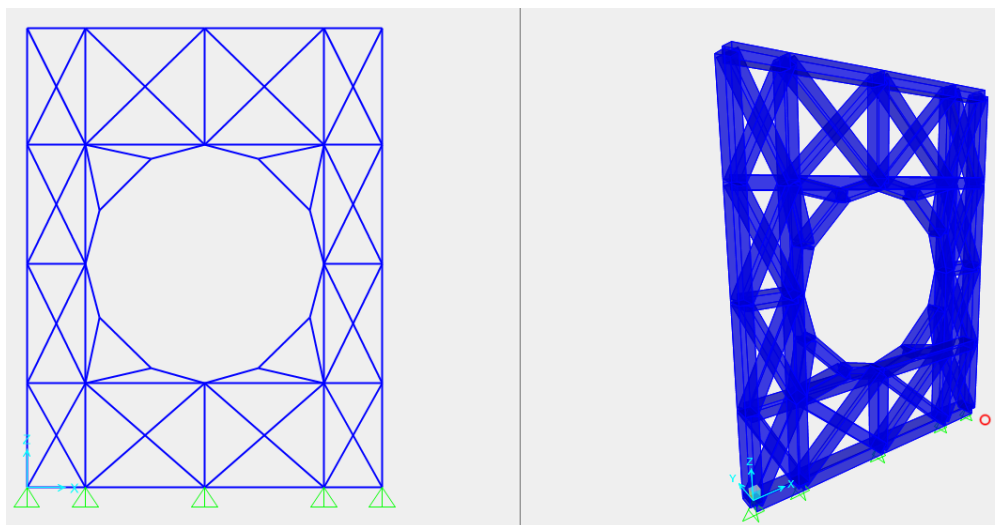


Figura 27: Modello di calcolo tirante-puntone del blocco di ancoraggio.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 70 di 186

La forza provocata dal passaggio del fluido nella condotta, per entrambi gli scenari di calcolo, è stata inserita nel modello ripartendo l'intensità della forza sulla lunghezza totale del blocco e poi moltiplicando il valore ottenuto per la larghezza della sezione del modello, ossia 20 cm.

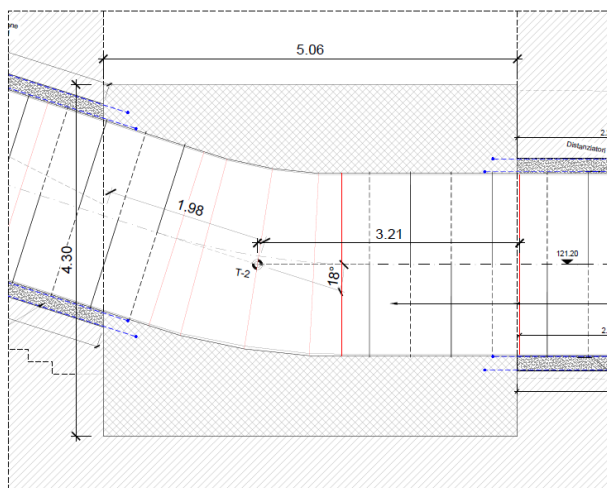
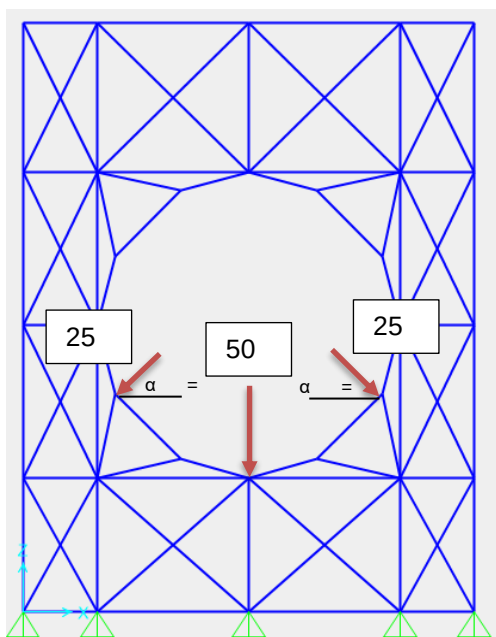


Figura 28: Geometria del blocco in progetto.

Pertanto, le forze da applicare nei due casi di analisi sono le seguenti:

- $F_{d1} = 1165.85 \text{ kN} / (1.98 \text{ m} + 3.21 \text{ m}) * 0.20 \text{ m} = 44.93 \text{ kN}$ massima regolazione
- $F_{d2} = 1205.15 \text{ kN} / (1.98 \text{ m} + 3.21 \text{ m}) * 0.20 \text{ m} = 46.44 \text{ kN}$ massimo invaso rivalutato

Tali forze sono applicate in tre punti distinti del modello di calcolo. Si considera il 50% del carico nella parte centrale del modello ed il 25% sulle parti laterali distribuito di forma radiale (v. **Figura 29**):



	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 71 di 186	

Figura 29: Applicazione delle spinte idrostatiche di progetto.

8.1.3 Calcolo delle sollecitazioni

Le forze assiali massime sono state calcolate considerando i carichi descritti al paragrafo 8.1.1 amplificati per i fattori indicati in **Tabella 39**, in ottemperanza delle NTC 2018.

Si ricorda inoltre che il modello numerico è realizzato considerando l'asse degli elementi strutturali. L'azione normale è positiva se di trazione, negativa se di compressione.

Nella **Tabella 39** si riportano le sollecitazioni massime calcolate per le combinazioni SLU.

SLU			
Elemento	N [kN]	N [kN]	Combinazione di carico
Blocco	-24.27	11.37	C1

Tabella 39: Sforzi massimi agenti sul blocco di ancoraggio per SLU.

8.1.4 Verifica della capacità portante

Il calcestruzzo che compone il corpo della diga deve essere in grado di resistere alla sollecitazione di esercitata dalla forza risultante. Come si può vedere in **Figura 24**, il blocco ha una larghezza di 5.15 metri e una lunghezza di 5.0 metri che si traduce in una superficie di base di ca. 26.00 m².

Tenendo in conto del peso del blocco e della forza risultante massima dovuta alla pressione idrostatica si ottiene una forza totale di 2'562.15 kN. Dividendo tale forza per l'area della base si ottiene una pressione di 0.10 MPa. La tensione di compressione ammissibile della muratura è di 10.69 MPa [11]. Il controllo è soddisfacente, ottenendo un fattore di sicurezza di 107.

8.1.5 Verifica del puntone

La capacità a compressione del puntone si calcola con la seguente equazione, come raccomandato da [19] capitolo 6.5.2:

$$\sigma_{Rd} = 0.6 v' f_{cd}$$

dove:

$$v' = 1 - \frac{250}{f_{ck}} = 0.877$$

$$f_{cd} = 17.40 \text{ MPa}$$

resistenza cilindrica a compressione di progetto del calcestruzzo

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 72 di 186

Sostituendo i valori si ottiene pertanto $\sigma_{Rd} = 9.16 \text{ MPa}$. Moltiplicando la sollecitazione per l'area della sezione trasversale del puntone (0.14x0.20 m) si ottiene una resistenza di $F_{Rd} = 256.41 \text{ kN}$. Questa forza supera la forza agente di progetto ottenuta dal modello matematico, dando un fattore di sicurezza di 10.56.

8.1.6 Verifica del tirante

La capacità del tirante, con l'armatura in progetto, si calcola come segue, [19] capitolo 6.5.3:

$$T_{Rd} = A_s f_{yd}$$

dove:

$A_s = 2.01 \text{ cm}^2$ area totale d'acciaio

$f_{yd} = 391.30 \text{ MPa}$ resistenza di progetto dell'acciaio

La resistenza a trazione massima ottenuta sostituendo i valori è 78.68 kN. Questa forza supera abbondantemente il carico di progetto ottenuto dal modello matematico, dando un fattore di sicurezza pari a 6.91.

8.2 Blocco di ancoraggio in corrispondenza delle paratoie

La struttura in analisi nel presente paragrafo è il blocco di ancoraggio nella zona terminale del nuovo scarico di fondo, in corrispondenza delle paratoie.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 73 di 186

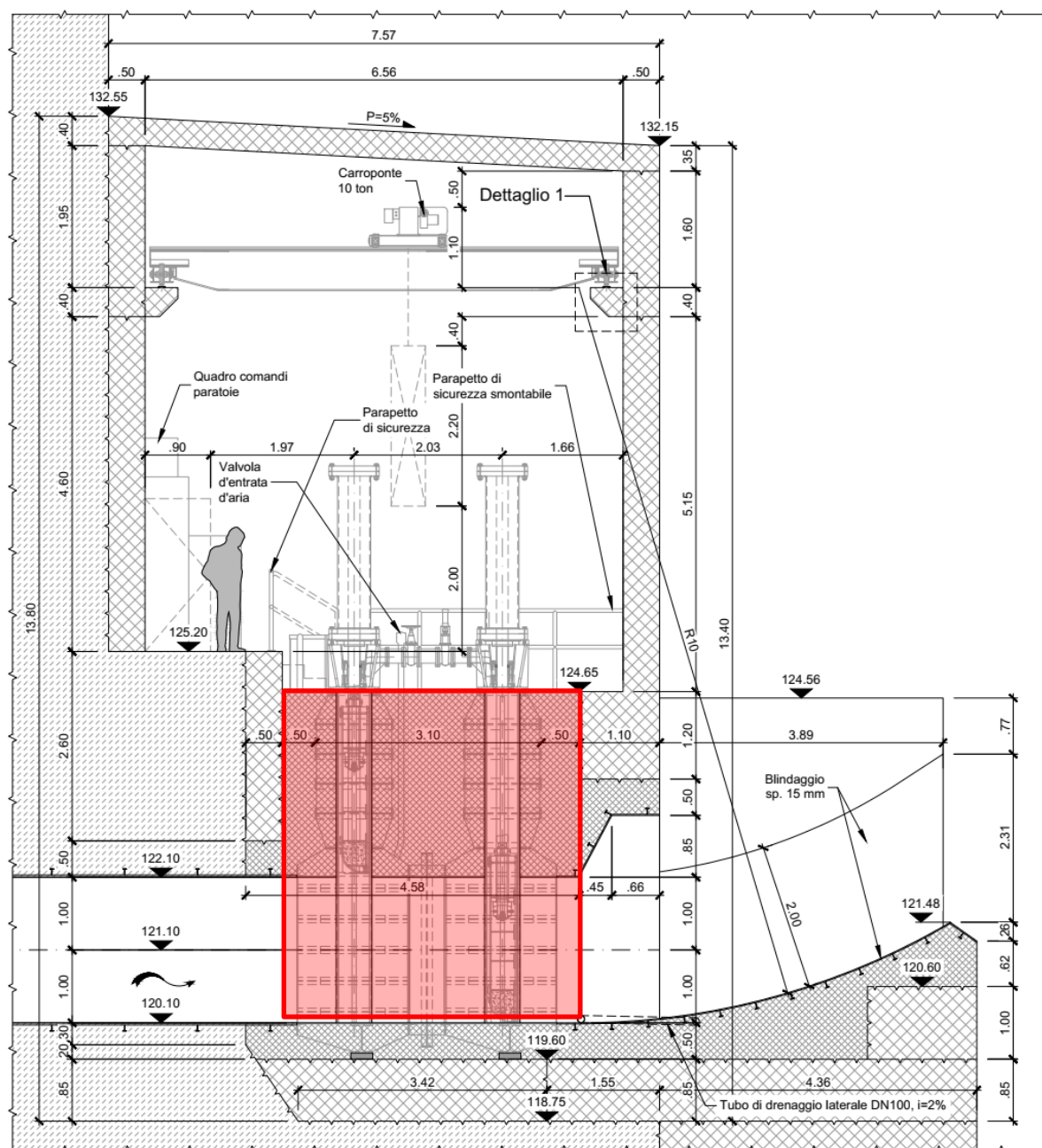


Figura 30: Vista in sezione del blocco di ancoraggio in corrispondenza delle paratoie.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 74 di 186

8.2.1 Analisi dei carichi e combinazioni di carico

8.2.1.1 Peso proprio

L'azione dovuta al peso proprio del blocco è stata calcolata considerando un peso specifico del calcestruzzo pari a $\gamma_m = 25 \text{ kN/m}^3$.

8.2.1.2 Spinta idrostatica

Per il calcolo della spinta idrostatica dell'acqua valgono le considerazioni del capitolo 5.1.2.

8.2.2 Verifica a taglio del calcestruzzo in corrispondenza delle guide delle paratoie

Il calcestruzzo in corrispondenza delle guide deve essere in grado di resistere al taglio generato dal carico idrostatico trasmesso dalla paratoia.

La superficie di rottura ipotizzata è diagonale con inclinazione 45° e tale da provocare un cuneo di rottura triangolare che attraversa le barre di armatura $\Phi 16$ presenti nella zona.

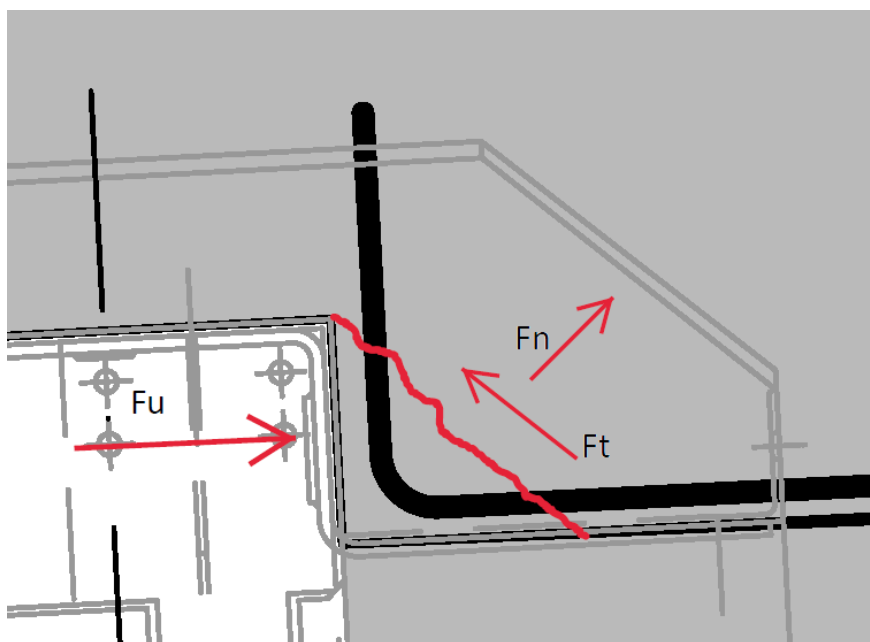


Figura 31: Superficie di rottura del cuneo di calcestruzzo e forze agenti.

Come è possibile osservare dalla precedente figura, la risultante delle pressioni idrostatiche (F_u) genera una forza di taglio tangente (F_t) ed una forza ortogonale (F_n) al piano di rottura. Affinché non si verifichi tale rottura, il calcestruzzo e l'acciaio devono essere in grado di resistere alle suddette forze agenti.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 75 di 186

La verifica a taglio è stata effettuata, al metro lineare di blocco, in accordo alle prescrizioni del capitolo 6.2.5 dell'EC2. Assumendo un piano inclinato di 45° si ottiene una superficie di rottura di dimensioni 38.60x100 cm.

Considerando che la paratoia risulta ubicata con soglia alla 121.20 m s.l.m. e di dimensioni 2.00x2.00 m, le forze risultanti idrostatiche agenti sono le seguenti:

- $F_{\text{max.regolazione}} = 1'683 \text{ kN}$
- $F_{\text{max.invaso}} = 1'825 \text{ kN}$

La paratoia si appoggia sulle guide laterali e sulla parte frontale superiore per una lunghezza totale di 6.20 m. Le forze al metro lineare agenti sul calcestruzzo sono dunque le seguenti:

- $f_{\text{max.regolazione}} = 271 \text{ kN/m}$
- $f_{\text{max.invaso}} = 294 \text{ kN/m}$

In accordo alle NTC2018, si assume un coefficiente di amplificazione del carico pari a 1.50, nel caso di invaso alla massima regolazione, e pari a 1, nel caso di serbatoio al massimo invaso. La verifica è stata dunque effettuata per il caso maggiormente gravoso, ovvero considerando una forza agente di progetto pari a $F_u = 406.50 \text{ kN/m}$. In tal caso, si ottengono le seguenti forze agenti sul piano di rottura:

$$F_t = F_n = F_u * \cos(45) = 287.50 \text{ kN}$$

Il taglio agente di progetto, per unità di superficie, è dunque pari a:

$$V_{Ed} = \frac{F_t}{38.60 \text{ cm} * 100 \text{ cm}} = 0.74 \text{ MPa}$$

Il taglio resistente è, in accordo all'EC2, il valore ottenuto dalla seguente relazione:

$$V_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 v f_{cd}$$

dove:

- c, μ : fattori dipendenti dalla scabrezza della superficie di rottura
- f_{ctd} : resistenza a trazione del calcestruzzo
- σ_n : sforzo normale agente sulla superficie di rottura
- ρ : quantità di armatura (A_s/A_i)
- f_{yd} : resistenza di snervamento dell'acciaio
- α : angolo tra la superficie di rottura e le barre di armatura resistenti a taglio
- v : fattore di riduzione della resistenza a taglio del calcestruzzo
- f_{cd} : resistenza a compressione di progetto del calcestruzzo

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 76 di 186

In funzione della geometria della sezione in c.a., il taglio resistente è il seguente:

$$V_{Rdi} = 0.45 * 1.41 \text{ MPa} + 0.7 * 0.74 \text{ MPa} + 0.005 * 391 \text{ MPa}(0.70 \sin 45 + \cos 45) = 3.60 \text{ MPa}$$

$$0.5 v f_{cd} = 0.5 * 0.52 * 18.13 \text{ MPa} = 4.74 \text{ MPa}$$

La verifica a taglio risulta dunque soddisfatta:

$$V_{Ed} < V_{Rdi} < 0.5v f_{cd}$$

8.2.3 Verifica di stabilità del blocco di ancoraggio

Il blocco di ancoraggio in corrispondenza delle paratoie, realizzato mediante calcestruzzo di seconda fase, risulta trattenuto dal calcestruzzo di prima fase nella parte superiore e laterale. Pertanto, affinché il blocco possa scorrere sotto l'effetto della spinta idrostatica, è necessario che si verifichi preliminarmente una rottura dei cunei di calcestruzzo di prima fase che contengono il blocco. Per questo motivo, si è ritenuto opportuno verificare la resistenza a taglio dei cunei indicati nella seguente figura. Se la loro resistenza è maggiore dallo sforzo di taglio trasferito dal blocco di ancoraggio di seconda fase, lo scorrimento di quest'ultimo risulta impedita e la verifica soddisfatta.

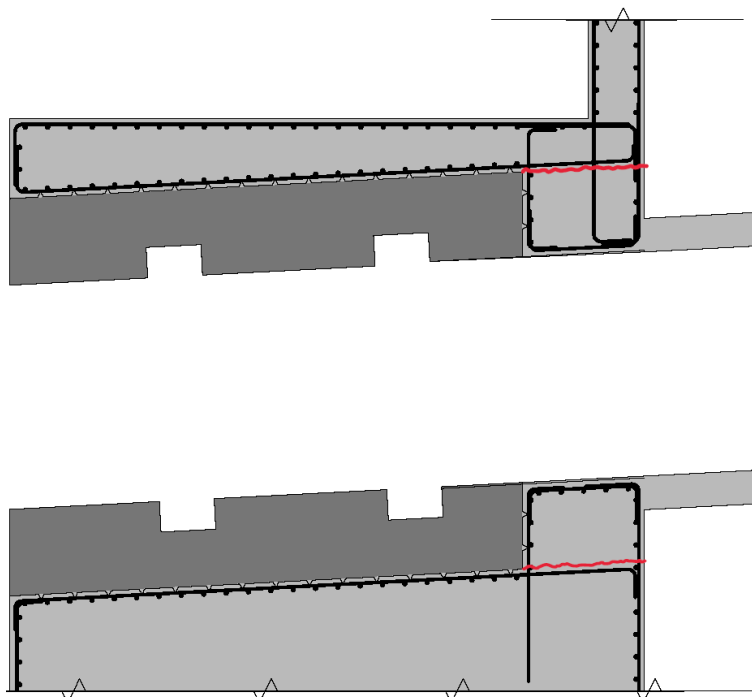


Figura 32: Superficie di rottura assunte per i cunei di calcestruzzo di prima fase.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 77 di 186

La forza di taglio a cui deve resistere cada cuneo è equivalente alla metà della forza idrostatica di progetto agente. Considerando dunque una superficie di rottura di dimensioni 1.07x3.30 m, il taglio agente per unità di superficie risulta il seguente:

$$V_{Ed} = \frac{F_t = 1'369 \times 1.5}{107 \text{ cm} * 330 \text{ cm}} = 0.40 \text{ MPa}$$

In funzione della geometria della sezione in c.a. il taglio resistente è il seguente:

$$V_{Rdi} = 0.45 * 1.35 \text{ MPa} + 0.7 * 0 \text{ MPa} + 0.002 * 391 \text{ MPa} (0.70 \sin 90 + \cos 90) = 1.12 \text{ MPa}$$

$$0.5 v f_{cd} = 0.5 * 0.53 * 17 \text{ MPa} = 4.49 \text{ MPa}$$

La verifica a taglio risulta dunque soddisfatta:

$$V_{Ed} < V_{Rdi} < 0.5 v f_{cd}$$

8.2.4 Verifica di resistenza del calcestruzzo nell'intorno della paratoia

Il calcestruzzo intorno alla paratoia è stato verificato considerando che quest'ultimo debba resistere alla pressione interna generata dai carichi idrostatici, trascurando conservativamente il contributo alla resistenza dovuto al blindaggio metallico.

8.2.4.1 Resistenza a compressione del puntone in calcestruzzo

La resistenza a compressione si calcola attraverso le seguenti espressioni:

$$\sigma_{Rd} = 0.6 v' f_{cd}$$

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

dove:

σ_{Rd} : Resistenza a compressione ammissibile di progetto

v' : Deformazione del calcestruzzo [0.872]

f_{cd} : Resistenza di calcolo a compressione

f_{ck} : Resistenza caratteristica a compressione [32 MPa]

8.2.4.2 Modello di calcolo

Per la verifica è stato ipotizzato un modello tirante puntone del blocco sviluppato mediante il software SAP 2000 attraverso elementi di tipo Frame di sezione 0.25x1.00 m (analisi per metro lineare).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas		CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 78 di 186

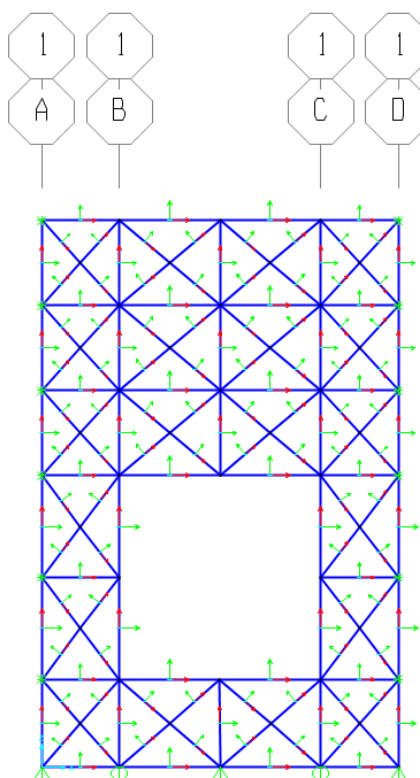


Figura 33: Modello tirante-puntone del blocco di ancoraggio in corrispondenza delle paratoie.

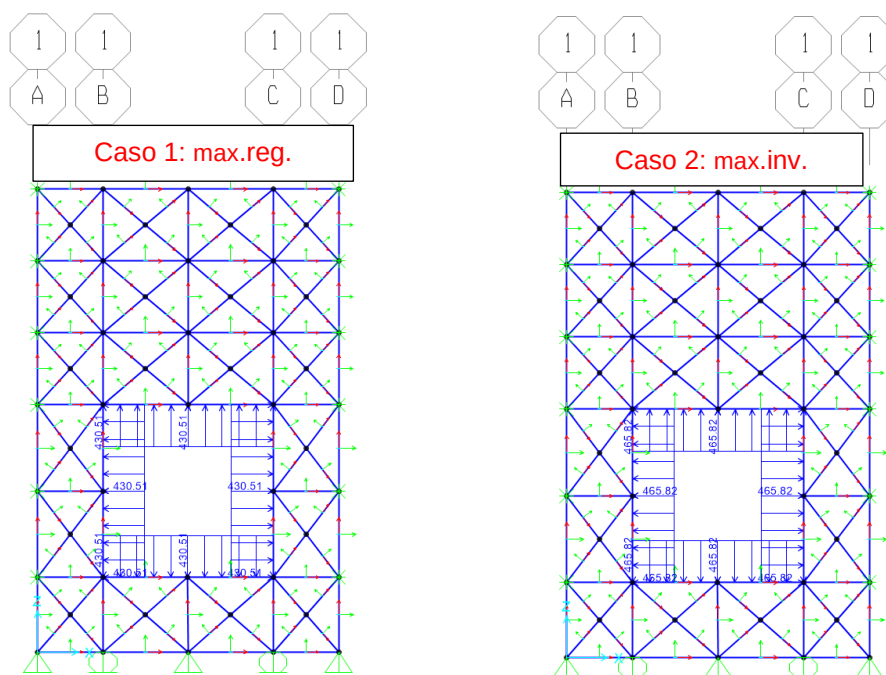


Figura 34: Scenari di carico ipotizzati.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 79 di 186

8.2.4.3 Risultati

I risultati ottenuti attraverso il modello di calcolo sono i seguenti:

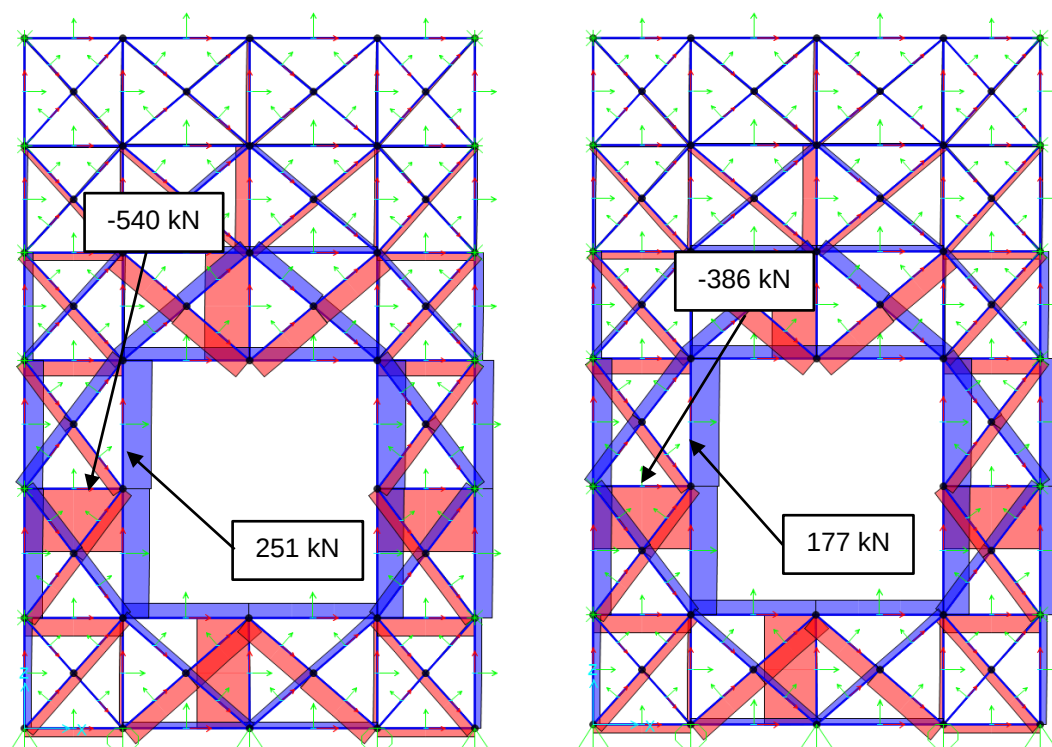


Figura 35: Sforzi assiali nelle aste del modello tirante-puntone (SLU a sinistra, SLE a destra).

Nella seguente tabella si riassumono gli sforzi massimi ottenuti per i distinti scenari di carico ipotizzati:

	Comb 1 (SLU)	Comb 2 (SLE)
Compressione max., F_{Ed} [kN]	540.00	386.00
Trazione max., T_{Ed} [kN]	251.00	177.00

Tabella 40: Sforzi massimi agenti nel modello tirante-puntone.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 80 di 186

8.2.4.4 Verifica di resistenza del modello tirante-puntone

La verifica a compressione, come è possibile osservare dalla seguente tabella, risulta soddisfatta:

Area sezione, A_{cs} [mm ²]	25'0000
Resistenza di calcolo, f_{cd} [MPa]	18.13
Resistenza del puntone, F_{Rd} [kN]	2371.84
Sforzo di compressione di calcolo, F_{Ed} [kN]	540.00
Fattore di sicurezza, FS [-]	4.39

Tabella 41: Verifica a compressione del puntone.

Per quanto riguarda invece la trazione, inizialmente si verifica se il tirante sottoposto ai carichi di esercizio (SLE) risulta verificato alla fessurazione. Se il calcestruzzo non si fessura non risulta necessaria la predisposizione di armatura.

Lo sforzo di trazione agente per unità di superficie è il seguente:

$$\sigma_t = \frac{177 \text{ kN}}{250000 \text{ mm}^2} = 0.71 \text{ MPa}$$

Come è possibile osservare $\sigma_t = 0.71 \leq f_{ctk,5\%} = 2.11 \text{ MPa}$, dunque la verifica risulta soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 81 di 186

9. DIMENSIONAMENTO CONDOTTA

Il nuovo scarico in progetto è costituito da una tubazione in acciaio alloggiata all'interno del corpo diga con imbocco ad una quota superiore rispetto al livello attuale dell'interrimento e dotato di due paratoie piane di intercettazione poste in prossimità dell'uscita della condotta dal corpo diga. L'esecuzione di questa opera richiede la perforazione di un foro di diametro 2'600 mm nel concio della diga contenente lo scarico di fondo esistente. La tubazione metallica da inserire all'interno della perforazione è prevista con diametro interno pari a 2'200 mm, spessore 15 mm ed annegata nel betoncino di riempimento utilizzato per l'inghisaggio.

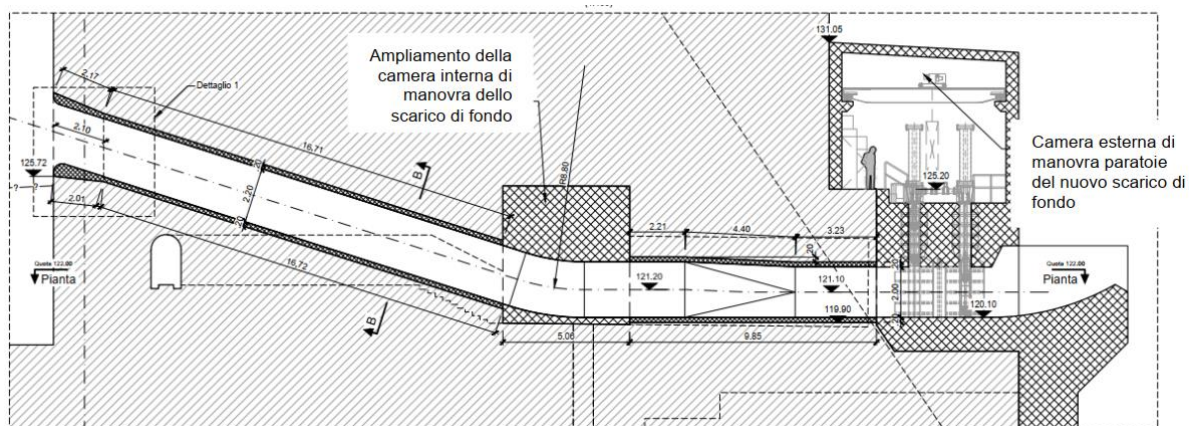


Figura 36: Tubazione d'acciaio in progetto.

9.1 Analisi dei carichi e combinazioni di carico

Ai fini del dimensionamento della condotta forzata si considerano i seguenti carichi ([22],[23]):

- Azione della pressione interna agente durante le condizioni di esercizio dell'impianto;
- Azione della pressione esterne durante le fasi di manutenzione e costruzione, ovvero quando la condotta è asciutta.

Non si è presa in considerazione la pressione d'iniezione poiché il riempimento tra la condotta e la muratura è realizzato con betoncino antiritiro, questo materiale evita l'uso d'iniezioni di contatto.

9.1.1 Pressione interna dell'acqua

La spinta idrostatica dell'acqua, agente sempre ortogonalmente al paramento di monte della diga, è stata valutata considerando un peso di volume dell'acqua invasata pari a $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$ ed il seguente scenario di calcolo:

- serbatoio alla quota di massimo invaso rivalutata 167.60 m s.l.m. (vedi documento progettuale [8]).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 83 di 186

Si tratta di una malta di iniezione specificamente progettata o preconfezionata, utilizzata a scopi di intasamento: la resistenza indicata è cautelativa rispetto alle effettive prestazioni ottenibili, anche notevolmente superiori.

9.3 Iniezioni di contatto

Il calcolo è nell'ipotesi di assenza di iniezioni di contatto, per cui il vuoto interstiziale sarà maggiore. In questo caso, secondo [24], il gap può assumere valori fino a $\delta = 1 \text{ ‰ } r_i$.

9.4 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico assunte si mostrano nella **Tabella 42**:

	Pressione interna	Pressione esterna
Fondamentale	1.5	-
Eccezionale	-	1

Tabella 42: Combinazioni di carico verifica della condotta.

Si sottolinea che la combinazione con pressione esterna è considerata come eccezionale poiché in essa si considera lo svuotamento dell'invaso.

9.5 Modello di calcolo

La **Figura 37** mostra il modello strutturale impiegato per il dimensionamento della condotta. Questo si compone per i seguenti elementi:

- Condotta di raggio interno r_i e spessore t ;
- Riempimento in malta tra la condotta di raggio r_i e la superficie di scavo di raggio r_1 ;
- Anello in muratura deteriorata dallo scavo con raggio esterno r_2 ;
- Muratura inalterata.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 84 di 186

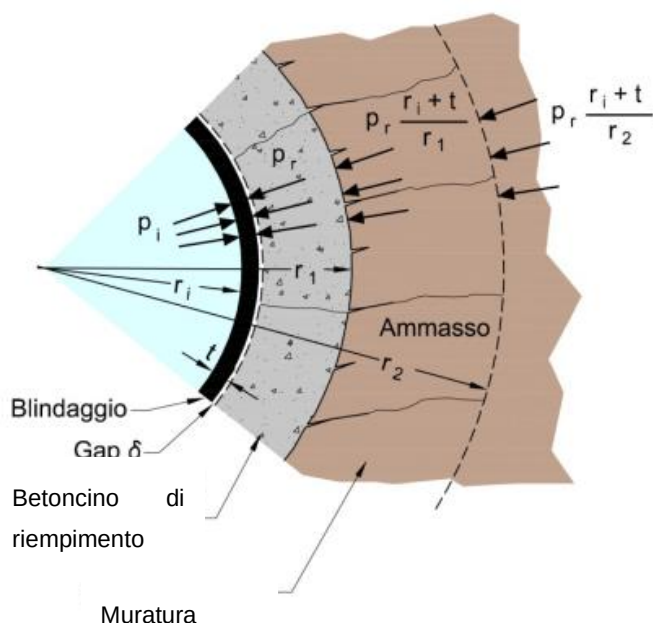


Figura 37. Modello geometrico e strutturale per il dimensionamento della condotta.

Si riassumono in **Tabella 43** i principali parametri utilizzati per il dimensionamento della condotta nel caso di pressione agente interna ed esterna.

r_i [m]	r_1 [m]	r_2 [m]	E_c [GPa]	E_{r1} [GPa]	E_{r2} [GPa]	t [mm]	d [m]
1.10	1.30	1.60	33.3	13.30	17.75	12	2.2

Tabella 43. Principali parametri del modello per dimensionamento a pressione interna ed esterna.

9.6 Verifica a pressione interna

9.6.1 Calcolo delle sollecitazioni

La condotta è sottoposta alla pressione interna p_i definita al paragrafo 9.1.1.

La pressione interna p_i si ripartisce nel seguente modo (rif. [25]):

- Pressione p_s assorbita dalla condotta che dà vita a tensioni tangenziali (circonferenziali) σ_s nella stessa;
- Pressione p_r trasmessa al betoncino di riempimento e poi alla muratura.

Risulta dunque che $p_i = p_s + p_r$. La ripartizione dei carichi è definita attraverso il parametro alfa e si calcola come segue:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 85 di 186

$$\alpha = \frac{p_r}{p_i}$$

Il grado di partecipazione della muratura α si definisce formulando la compatibilità delle deformazioni sulla superficie di contatto tra la condotta e la malta di riempimento, ovvero uguagliando le deformazioni u_s della condotta sottoposta alla pressione interna p_s e le deformazioni u_r della malta e della muratura sottoposti alla pressione interna p_r , senza dimenticare il gap δ :

$$u_s = u_r + \delta$$

La deformazione u_s della condotta della condotta sottoposta al carico interno p_s si ottiene dalle formule per condotte a parete sottile:

$$u_s = p_s \frac{\left(r_i + \frac{t}{2}\right)^2}{E_s \cdot t}$$

La deformazione del calcestruzzo sottoposto alla pressione interna p_r si ottiene con la seguente formulazione [25]:

$$u_r = p_r r_i \left[\frac{1 - \nu_c^2}{E_c} \cdot \ln \frac{r_1}{r_i} + \frac{1 - \nu_r^2}{E_{r1}} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1 + \nu_r}{E_{r2}} \right]$$

Questa formula ammette che il betoncino di riempimento e l'anello di muratura possano essere fessurati e dunque esclude che questi elementi possano assumere carichi tangenziali. Ciò significa che agli stessi è prudenzialmente attribuita solo la funzione della trasmissione dei carichi tra la condotta e la muratura non fessurata.

Una volta determinato il grado di partecipazione della muratura α ed ottenute le pressioni p_s per l'acciaio e p_r per la malta di riempimento e la muratura, si ottengono le pressioni tangenziali σ_s nel blindaggio attraverso la seguente formula:

$$\sigma_s = p_s \cdot \left(\frac{2 \cdot r_i + t}{2 \cdot t} \right)$$

9.6.2 Verifica tensionale

La verifica tensionale della condotta si riporta nelle tabelle in seguito. Si sottolinea che, per tenere in conto degli effetti di corrosione a lungo termine si aggiungono, a favore di sicurezza, 3 millimetri allo spessore risultante.

Considerando una pressione interna agente sulla condotta, maggiorata di un fattore $\gamma_G = 1.5$, pari a 0.62 MPa si ottengono i seguenti risultati:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 86 di 186

Grandezza	Unità di misura	Valore
p_s	[MPa]	0.69
p_r	[MPa]	0.00
$p_{r,1}$	[MPa]	0.00
$p_{r,2}$	[MPa]	0.00
$\sigma_s(p_i)$	[MPa]	63.73
α	[-]	0.00
γ_s	[-]	1.05
Efficienza	[%]	0.22
u_s	[mm]	0.34

Tabella 44: Risultati della verifica tensionale a pressione interna.

Dalle tabelle è possibile osservare che la deformazione della condotta, pari a 0.34 mm, è minore rispetto al gap tra la malta di riempimento (1.1 mm) e pertanto la totalità della pressione agente viene presa dall'acciaio. Un altro fattore da evidenziare è la efficienza con cui lavora la condotta, pari al 21.6% della sua capacità ammissibile.

La verifica a pressione interna della condotta è dunque soddisfatta.

9.7 Verifica a pressione esterna

9.7.1 Calcolo delle sollecitazioni

Le sollecitazioni agenti sulla condotta sono calcolate secondo le equazioni sviluppate da Amstutz [23], basate su un modello di resistenza della membrana che prevede, sotto l'azione dell'azione esterna, la deformazione con la formazione di lobi verso l'interno della perforazione della condotta.

Le formule per determinare lo stato tensionale all'interno di condotte circolari sottoposte ad azione esterna sono le seguenti:

$$\frac{\sigma_N - \sigma_v}{\sigma_y^* - \sigma_N} \cdot \left[\frac{r}{i} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_N}{E^*}} \right]^3 \cong 1.73 \cdot \frac{r}{e} \left[1 - 0.225 \cdot \left(\frac{r}{e} \right) \cdot \frac{\sigma_F - \sigma_N}{E^*} \right]$$

$$P_{cr} \cong \frac{F \sigma_N}{r} \left[1 - 0.175 \left(\frac{r}{e} \right) \frac{\sigma_y^* - \sigma_N}{E^*} \right]$$

Dove $i = \frac{t}{\sqrt{12}}$, $e = \frac{t}{2}$, $F = t$, $\sigma_v = -\left(\frac{\delta}{r}\right) E^*$

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 87 di 186	

- $\frac{\delta}{r}$ rapporto tra il gap della condotta e della malta di riempimento
- r raggio della condotta
- D diametro della condotta
- t spessore della condotta
- E modulo elastico dell'acciaio
- $E^* = \frac{E}{1-\nu^2}$
- σ_y sforzo di snervamento
- σ_N sforzo assiale nella condotta
- $\mu = 1.5 - 0.5 \cdot \left[1 - \left(1 - 0.002 \cdot \frac{E}{\sigma_y} \right) \right]^2$ coefficiente che prende in conto l'appoggio della perforazione sulla condotta
- $\sigma_y^* = \frac{\mu \cdot \sigma_y}{(1+\nu+\nu^2)^{0.5}}$
- ν coefficiente di Poisson
- P_{cr} pressione esterna critica d'imbozzamento

9.7.2 Verifica tensionale

Considerando una pressione esterna agente pari a 0.43 MPa si ottengono i seguenti risultati:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 88 di 186

Grandezza	Unità di misura	Valore
F	[m ²]	0.012
E^*	[-]	230.77
σ_y	[MPa]	-230.77
σ_N	[MPa]	114.75
e	[m]	0.006
i	[m]	0.0035
r_i/i	[-]	317.54
r_i/e	[-]	188.33
P_{cr}	[kPa]	1'209.10
E_d	[kPa]	577.8
γ_s	[-]	1.05
Efficienza	[%]	0.504

Tabella 45. Risultati della verifica tensionale a pressione esterna.

Si può notare che il livello di sforzo nella condotta sia basso, arrivando al 50.4% della capacità ad imbozzamento.

La verifica a pressione esterna della condotta è dunque soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 89 di 186	

10. VERIFICA TENSIONI DOVUTE ALLA PERFORAZIONE

10.1 Premessa

Il seguente capitolo intende quantificare l'incidenza del foro sullo stato tensionale e valutare l'effetto della foratura sulla stabilità del corpo diga.

Date le dimensioni della diga, il comportamento strutturale globale e le condizioni di stabilità generali dell'opera sono influenzati solo in minima parte dalla perforazione e gli effetti saranno di entità tale da poter essere del tutto trascurati. Pertanto, questo capitolo si limiterà ad analizzare lo stato tensionale nelle immediate vicinanze del foro.

Si provvede a determinare il comportamento in forma parametrica con il carico di 1 MPa, dovuto al fatto che si assume un materiale elastico, omogeneo e continuo. Questo comportamento successivamente è parametricamente riferito al valore di carico reale per ogni una delle combinazioni descritte nel paragrafo 10.4.6.

10.2 Scenari di calcolo

Al fine di garantire la sicurezza durante le attività di cantiere e nella successiva fase quando il nuovo organo di scarico entrerà in funzione, sono state realizzate le verifiche tensionali per i seguenti scenari:

- Scenario 1: Fase di esecuzione dei lavori e realizzazione del foro, precedente all'installazione della tubazione (conservativamente assunto pari alla max. regolazione 164.00 m slm);
- Scenario 2: Fase di esercizio dello scarico (sono verificate tutte le combinazioni di carico riportate paragrafo 10.4.6.[9], incluso lo scenario con serbatoio alla quota di massimo invaso 167.30 m s.l.m.).

Le sollecitazioni maggiormente critiche in prossimità della perforazione si manifesteranno durante l'esecuzione dei lavori e la loro entità sarà strettamente legata al livello d'invaso. Si procederà dunque a determinare, in relazione alle condizioni d'esercizio ipotizzate durante il cantiere, la distribuzione delle tensioni in assenza delle virole. In seguito, si includeranno gli effetti della tubazione metallica e del materiale di inghisaggio.

Per le verifiche sono definiti tre punti di controllo, mostrati nella **Figura 38**: uno vicino al paramento di monte (punto A), un secondo a metà del tratto inclinato (punto B) e l'ultimo vicino al cambio di direzione (punto C).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 90 di 186

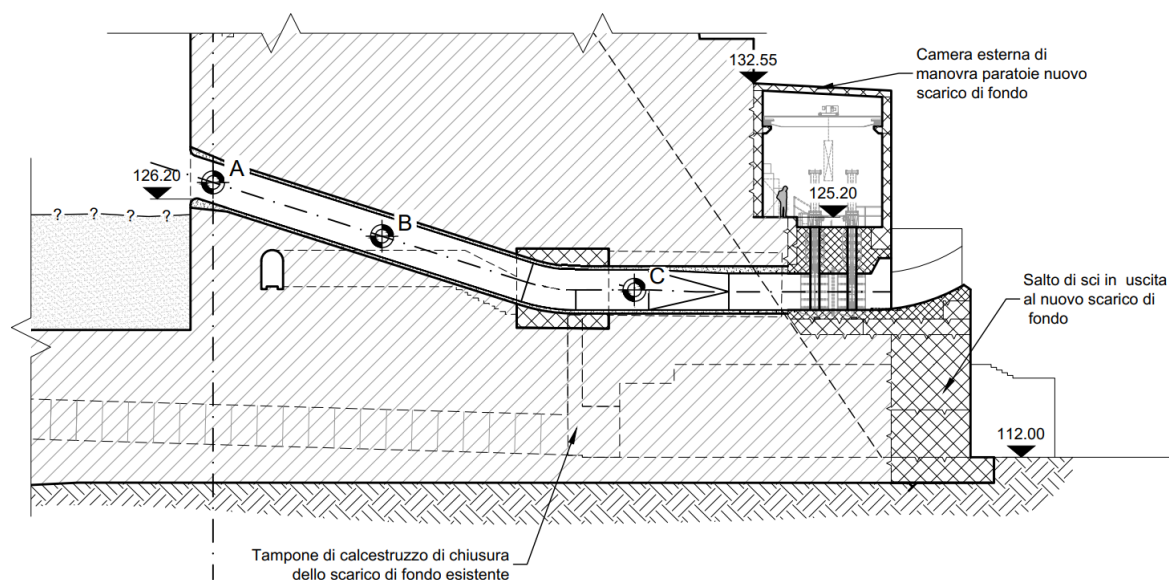


Figura 38: Ubicazione dei punti di verifica.

10.3 Materiali

I parametri meccanici della muratura costituente il corpo diga assunti per le verifiche sono riportate nella seguente tabella:

Parametro	Simbolo [u.m.]	Valore	Note
Peso dell'unità di volume	γ [kN/m ³]	24.41	Da prove ISMES 1989
Resistenza caratteristica a compressione	f_{ck} [MPa]	17.00	Da prove di laboratorio TECNOIN
Resistenza dinamica caratteristica a compressione	$f_{ck,din}$ [MPa]	22.10	$f_{ck,din} = 1.3 f_{ck}$
Resistenza media a trazione	f_{ctm} [MPa]	0.65	Da prove ISMES 1989
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk} [MPa]	0.45	$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm}$
Resistenza dinamica caratteristica a trazione	$f_{ctk,din}$ [MPa]	0.68	$f_{ctk,din} = 1.50 \times f_{ctk}$
Modulo elastico	E_c [GPa]	17.75	Da prove ISMES 1989
Modulo elastico dinamico	$E_{c,din}$ [GPa]	22.18	$E_{c,din} = 1.25 E_c$
Coefficiente di Poisson	ν [-]	0.16	Da prove ISMES 1989
Angolo di attrito	φ [°]	54	
Coesione	c [MPa]	0.5	

Tabella 46: Proprietà della muratura del corpo diga.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 91 di 186

Per quanto riguarda il betoncino di riempimento, i seguenti parametri sono stati adottati:

- Resistenza caratteristica alla compressione 32 MPa
- Dosaggio minimo 350 kg/m³
- Rapporto a/c ≤ 0.45
- Resistenza alla trazione media 3.02 MPa

10.4 Analisi dei carichi

10.4.1 Peso proprio e forze d'inerzia

L'azione dovuta al peso proprio della struttura è stata calcolata moltiplicando il peso dell'unità di volume del materiale costituente la diga per il volume per unità di larghezza della sezione trasversale della diga calcolata alle diverse quote di calcolo.

Le azioni inerziali agenti sul corpo diga sono calcolate applicando l'accelerazione sismica alla massa della struttura, in accordo alla diversa metodologia di calcolo sismico utilizzata.

10.4.2 Spinta idrostatica

La spinta idrostatica dell'acqua, agente sempre ortogonalmente al paramento di monte della diga, è stata valutata considerando un peso di volume dell'acqua invasata pari a $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$ ed i seguenti scenari di calcolo:

- serbatoio alla quota di massima regolazione pari a 164.00 m s.l.m. (da F.C.E.M. [7]); livello di valle pari a 114.00 m s.l.m.
- serbatoio alla quota di massimo invaso pari a 167.60 m s.l.m. come da prescrizioni nella nota DGD 25312/RU del 25/11/2020 allo studio idrologico-idraulico dell'invaso, livello di valle pari a 122.30 m s.l.m.

La pressione idrostatica agente, al variare della profondità, può essere calcolata attraverso la seguente espressione:

$$p_w = \gamma_w \cdot h$$

dove h è la profondità rispetto alla superficie liquida a contatto con l'atmosfera.

La pressione così calcolata ha una distribuzione triangolare ed una risultante applicata ad un terzo dell'altezza del triangolo.

La pressione idrodinamica è stata determinata in conformità al par. C.7.7.3 del D.M. 2014, secondo la formula proposta da Zangar.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 92 di 186	

10.4.3 Sottospinta idraulica

Nello sbarramento è presente un sistema di drenaggio composto da canne verticali di diametro 500 mm e spaziatura 5.0 m. I drenaggi, secondo le indicazioni degli elaborati progettuali storici, si approfondiscono fino al contatto diga-fondazione senza approfondirsi all'interno dell'ammasso roccioso di fondazione.

La spaziatura dei drenaggi non è conforme ai requisiti di normativa NTD2014 (5.0 m invece di 2.5 m) mentre il diametro dei dreni è notevolmente maggiore del requisito di normativa (500 mm invece di 120 mm).

Le sottopressioni idrauliche sul piano di fondazione ed all'interno del corpo diga sono state valutate, in accordo alle prescrizioni delle NTD2014, secondo la procedura illustrata nel doc. [9].

10.4.4 Sedimenti

I rilievi batimetrici condotti in passato hanno evidenziato la presenza di sedimenti nell'invaso fino ad una quota di circa 126 m s.l.m.

Il materiale depositato immediatamente a monte, per le caratteristiche di lunghezza dell'invaso e la posizione della diga, è limo in condizioni di saturazione, per cui la letteratura indica i seguenti valori di peso unitario

- Limo asciutto 15.0-16.0 kN/m³
- Limo umido 16.7-18.5 kN/m³

Da questa seconda indicazione, più cautelativa, il peso specifico immerso adottato, utilizzato per la stima della spinta aggiuntiva a quella idrostatica.

- Per tener conto della spinta dei sedimenti, è stato quindi inserito nel modello di calcolo un ulteriore carico distribuito triangolare, attribuendo cautelativamente al materiale depositato un peso specifico immerso $\gamma'_m = 7.5 \text{ kN/m}^3$.

10.4.5 Azione sismica

Per quanto riguarda il sisma, l'analisi della sezione della diga contenente il nuovo scarico di fondo in progetto viene eseguita mediante metodo pseudo-statico.

I valori dei coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale definiti nel documento progettuale "2020.0240.002-GC-DIG-RT-802 Verifiche di sicurezza della diga [9]" e adottati per i vari stati limite considerati sono mostrati nelle seguenti tabelle:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 93 di 186

Sezione	Analisi modale		SLD	SLC
	T invaso pieno [s]	a _h [g]	a _h [g]	a _h [g]
S5	0.270	0.230	0.085	0.216

Tabella 47: Accelerazioni orizzontali di progetto (positive se verso valle) per la sezione della diga contenente il nuovo scarico di fondo.

Sezione	Analisi modale		SLD	SLC
	T invaso pieno [s]	T invaso vuoto [s]	a _h [g]	a _h [g]
S5	0.081	0.080	0.021	0.078

Tabella 48: Accelerazioni verticali di progetto per la sezione della diga contenente il nuovo scarico di fondo.

10.4.6 Combinazione dei carichi

Nel caso in questione, pertanto, si considerano le seguenti combinazioni di calcolo:

- C1. Statica, invaso alla massima regolazione
- C2. Statica, invaso vuoto
- C3. Statica, quota di massimo invaso
- C4. Sisma SLD, invaso alla massima regolazione
- C5. Sisma SLD, invaso vuoto o alla minima regolazione
- C6. Sisma SLC, invaso alla massima regolazione
- C7. Sisma SLC, invaso vuoto o alla minima regolazione

Nella seguente tabella si riassumono tutti i coefficienti parziali per le combinazioni di calcolo considerate.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas		CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 94 di 186

		Combinazioni di carico						
		Fondamentale		Eccezionale	Sismica			
		SLE/SLU	SLE/SLU	SLU	SLD	SLD	SLC	SLC
		Invaso pieno	Invaso vuoto	Invaso pieno	Invaso pieno	Invaso vuoto	Invaso pieno	Invaso vuoto
G1	Peso proprio	1.0/1.0	1.0/1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
G1	Sedimenti	1.0/1.3	1.0/1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
G1	Spinta idrostatica	1.0/1.1 ⁽¹⁾	-	1.0 ⁽³⁾	1.0 ⁽¹⁾	1.0 ⁽²⁾	1.0 ⁽¹⁾	1.0 ⁽²⁾
G1	Sottospinta idraulica	1.0/1.1 ⁽¹⁾	-	1.0 ⁽³⁾	1.0 ⁽¹⁾	1.0 ⁽²⁾	1.0 ⁽¹⁾	1.0 ⁽²⁾
E	Spinta idrodinamica	-	-	-	1.0 ⁽¹⁾	1.0 ⁽²⁾	1.0 ⁽¹⁾	1.0 ⁽²⁾
E	Sisma SLD	-	-	-	1.0	1.0	-	-
E	Sisma SLC	-	-	-	-	-	1.0	1.0
Combinazione		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
⁽¹⁾ Invaso alla massima regolazione, ⁽²⁾ Invaso vuoto o alla minima regolazione, ⁽³⁾ quota di massimo invaso								

Tabella 49: Combinazioni di carico (Tab. C6 NTD 2014).

Si precisa, che nelle combinazioni sismiche sono stati considerati i coefficienti di concomitanza riportati in **Tabella 50**.

Subcombinazione	Orizzontale	Verticale
a	1	0.3
b	-1	0.3
c	1	-0.3
d	-1	-0.3

Tabella 50: Coefficienti di combinazione sismica.

10.5 Modello FEM 2D diga

La determinazione delle tensioni all'interno del corpo diga è stata effettuata mediante modellazione bidimensionale agli elementi finiti con l'ausilio del programma MIDAS GEN.

La sezione di calcolo, tracciata in corrispondenza del concio contenente lo scarico di fondo nella configurazione della diga allo stato di progetto, è stata modellata tenendo in conto la presenza dei cunicoli e delle gallerie interne, secondo la geometria ottenuta del rilievo topografico laser scanner effettuato nel marzo 2021.

Ogni sezione è stata modellata attraverso elementi finiti di tipo "plate", considerando una mesh di calcolo di dimensione media 1.5 x 1.5 m.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 95 di 186	

L'effetto dovuto alla presenza delle cavità nella struttura è stato modellato considerando una riduzione della rigidezza degli elementi finiti in corrispondenza di queste aree, proporzionale alla larghezza dei cunicoli rispetto alla larghezza totale del concio. Lo spessore (proporzionale alla rigidezza) assunto per gli elementi "plate" nei tratti in cui sono presenti cavità (vuoti) è stato dunque calcolato in accordo alla seguente espressione:

$$\frac{L_{\text{concio}} - L_{\text{vuoto}}}{L_{\text{concio}}}$$

Nella seguente tabella si riassumono gli spessori utilizzati nel modello di calcolo, mentre nella **Figura 39** se ne fornisce una rappresentazione grafica.

Sezione	Larghezza concio [m]	Larghezza vuoti [m]	Spessore modello [m]
Diga	24.85	0.00	1.00
Concio frontale	24.85	10.50	0.58
Scarico intermedio tratto valle	24.85	10.56	0.58
Scarico intermedio	24.85	15.73	0.37
Vecchio scarico di fondo	24.85	2.25	0.91
Camara di montaggio	24.85	8.25	0.67
Galleria	24.85	1.20	0.95
Scarico di fondo	24.85	2.60	0.90
N. Scarico di fondo + Galleria	24.85	3.80	0.85

Tabella 51: Calcolo spessori per modello di calcolo sezione contenente il nuovo scarico di fondo.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 96 di 186

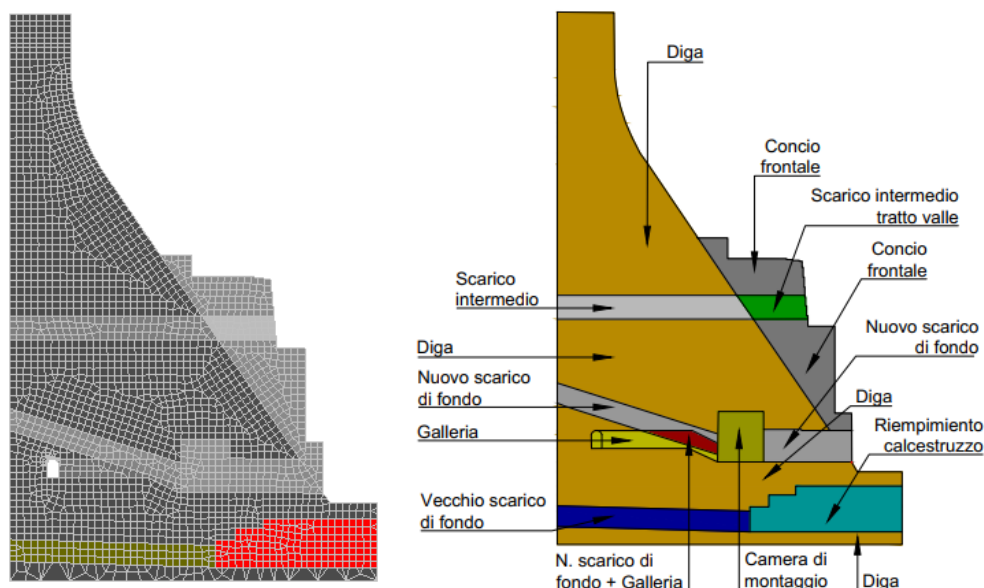


Figura 39: Modello FEM 2D (in colore diverso le aree con diversa rigidezza) della sezione contenente il nuovo scarico di fondo.

10.6 Parametri di calcolo

I principali parametri utilizzati nelle verifiche sono i seguenti (rif.[10]):

- Diametro del foro nella diga: 2'600 mm
- Diametro tubazione metallica 2'200 mm
- Spessore tubazione metallica 15 mm
- Modulo elastico della diga 17.75 GPa
- Coefficiente di Poisson del calcestruzzo 0.24
- Modulo elastico dell'acciaio 210 GPa

I calcoli eseguiti per il dimensionamento dello spessore della tubazione metallica sono illustrati nel capitolo 9 e si rimanda ad esso per maggiori dettagli al rispetto.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 97 di 186

10.7 Modello di analisi perforazione

10.7.1 Foro senza tubazione metallica

Il presente paragrafo descrive il procedimento di calcolo utilizzato per la determinazione delle tensioni agenti sul foro durante la fase di cantiere, previamente all'installazione e all'inghisaggio della tubazione metallica.

A tal fine, si applica il modello teorico di un foro all'interno di un mezzo infinitamente elastico. Nel caso in questione, il calcolo viene condotto sulla base della teoria di Kastner [26], considerando un foro di raggio 130 cm.

10.7.1.1 Stato tensionale di un mezzo infinitamente elastico, omogeneo e continuo

Lo stato tensionale radiale e tangenziale è definito in accordo a [26]:

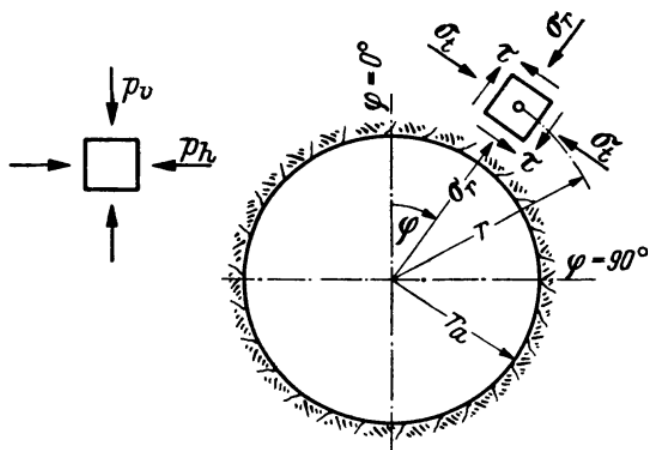


Figura 40 – Schema di riferimento per il calcolo dello stato tensionale dopo la perforazione.

$$\sigma_r = \frac{p_v}{2} \cdot \left[(1-\alpha^2) \cdot (1+\lambda_0) + (1-4\alpha^2+3a^4) \cdot (1-\lambda_0) \cdot \cos^2 \varphi \right]$$

$$\sigma_t = \frac{p_v}{2} \cdot \left[(1-\alpha^2) \cdot (1+\lambda_0) - (1-3a^4) \cdot (1-\lambda_0) \cdot \cos^2 2\varphi \right]$$

$$\tau = -\frac{p_v}{2} \cdot (1+2\alpha^2-3a^4) \cdot (1-\lambda_0) \cdot \cos 2\varphi$$

dove:

σ_r tensione radiale

σ_t tensione tangenziale

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 98 di 186	

τ	tensione di taglio
φ	angolo di analisi rispetto alla verticale
p_v	tensione di compressione
λ_0	rapporto tra pressione orizzontale e verticale p_h/p_v
α	rapporto tra raggio d'analisi e raggio della perforazione r/r_a

La **Figura 41** illustra la distribuzione delle tensioni attorno ad un foro circolare in un mezzo infinitamente elastico sottoposto ad uno stato tensionale unidirezionale verticale di 1 MPa, da considerarsi come carico unitario. I risultati sono completamente indipendenti dai parametri meccanici e dipendono solo dalle dimensioni geometriche.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 99 di 186

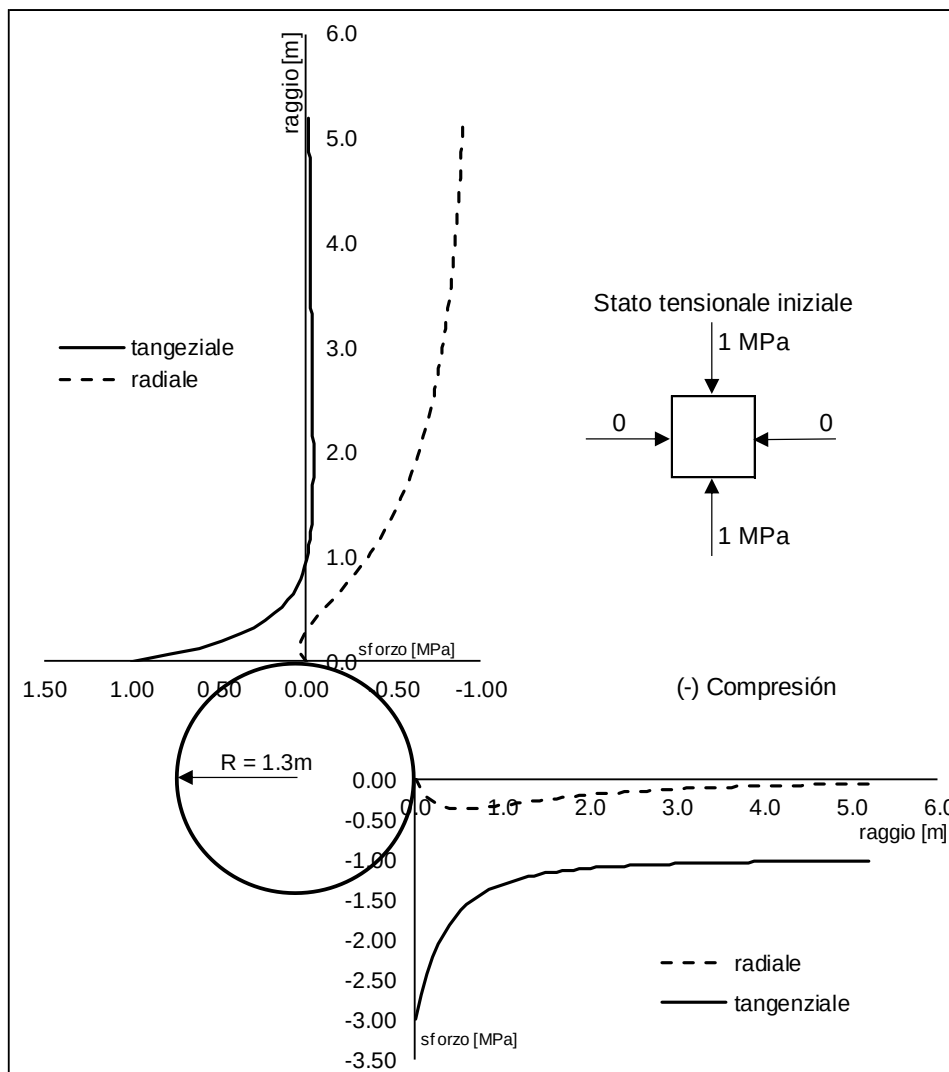


Figura 41 – Ripartizione delle tensioni attorno al foro (senza tubazione metallica) con carico verticale 1 MPa.

La **Figura 41** illustra la distribuzione delle tensioni radiali e tangenziali in funzione del raggio proiettato lungo gli assi verticale e orizzontale. Si può notare che:

- la tensione massima di compressione equivale a tre volte la tensione verticale iniziale ed è raggiunta in prossimità delle generatrici laterali del foro: è diretta verticalmente.
- La trazione massima equivale alla tensione verticale iniziale ed è raggiunta in prossimità delle generatrici superiore e inferiore del foro: è diretta orizzontalmente.
- La tensione radiale lungo le generatrici superiore e inferiore e la tensione tangenziale lungo le generatrici laterali rappresentano le tensioni massime nel piano della sezione di calcolo.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 100 di 186	

Data la tipologia di diga a gravità in calcestruzzo, non si considera lo stato tensionale agente orizzontalmente nel piano della sezione di calcolo.

La **Tabella 52** riporta quindi in modo riassuntivo i coefficienti di proporzionalità che permettono di calcolare le tensioni estreme attorno al foro in funzione dello stato tensionale verticale precedente alla realizzazione del foro.

Tensione	k1
Compressione	3.0
Trazione	-1.0

Tabella 52 – Coefficiente per il calcolo K1 delle tensioni massime attorno al foro senza tubazione metallica.

I coefficienti di calcolo riportati nella **Tabella 52** permettono di determinare le tensioni massime in prossimità del foro in funzione delle tensioni d'esercizio nel medesimo punto della diga in assenza foro.

Una volta noti i coefficienti correttivi, essendo lo stato tensionale agente sul calcestruzzo dopo la realizzazione del foro funzione dello stato tensionale precedente alla realizzazione si procederà al calcolo della tensione massima con la seguente formula:

$$T = k_1 \cdot S_0$$

dove:

k ₁	Coefficiente di calcolo come da Tabella 52
S ₀	Stato tensionale senza foro al momento dell'esecuzione dei lavori con livello alla minima regolazione.
T	Tensioni massime locali attorno al foro con livello alla minima regolazione.

10.7.2 Foro con tubazione metallica inghisata

Il presente paragrafo analizza, in maniera analoga al capitolo precedente, il modello di analisi utilizzato per valutare il comportamento del foro a seguito della posa e dell'inghisaggio della tubazione metallica.

Il caso di un foro contenente una tubazione metallica inghisata e sottoposto ad uno stato tensionale unidirezionale verticale, è un problema complesso, dipendente da molteplici fattori. Verrà quindi trattato con l'ausilio di un modello numerico.

I risultati dipendono dalla differenza di rigidità tra il calcestruzzo, il materiale di iniezione e la tubazione metallica e quindi dai parametri geometrici e meccanici specificati nel capitolo 10.6.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 101 di 186	

A premessa, per la corretta interpretazione dei risultati, sono da considerarsi i seguenti aspetti:

- Il calcolo considera il riempimento di bentoncino per l'inghisaggio esclusivamente come un apporto di materiale; questo apporto viene quindi considerato come un riempimento a ritiro compensato.
- Lo spessore della tubazione metallica non considera la presenza di flange o rinforzi alcuni.

Per l'analisi del comportamento del foro con l'effetto della tubazione metallica, essendo l'analisi in campo elastico, è stato utilizzato il codice di calcolo a elementi finiti Midas Gen. Il modello di calcolo sviluppato, illustrato in **Figura 42**, rappresenta un quarto dell'intera sezione. Le generatrici inferiore e sinistra compensano con adeguate condizioni di vincolo le parti mancanti in virtù delle condizioni di simmetria geometrica e di carico. Sulla frontiera del modello di calcolo sono stati applicati dei vincoli a cerniera. Il raggio del foro è pari al raggio previsto per la tubazione, ovvero 110 cm. La corona, che si estende da un raggio di 110 cm fino a 130 cm, rappresenta la zona d'inghisaggio.

Come nel caso precedente, al fine di determinare i coefficienti moltiplicativi rispetto allo stato tensionale senza foro, si considera esclusivamente una pressione verticale di 1 MPa applicata sulla generatrice superiore (si mantiene l'ipotesi di mezzo elastico, continuo ed omogeneo).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 102 di 186

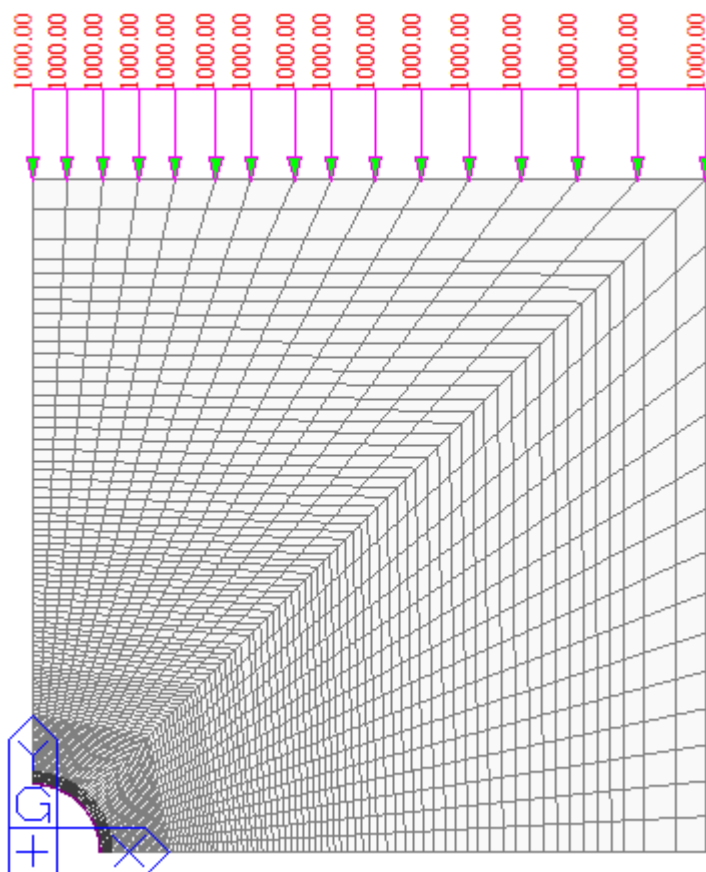


Figura 42: Modello di calcolo per la determinazione dello stato tensionale attorno al foro (con tubazione metallica e materiale d'iniezione).

I risultati dell'analisi considerano distintamente le tensioni massime nella zona iniettata ($110 \text{ cm} < r < 130 \text{ cm}$) e le tensioni massime nella zona della muratura originaria della diga ($r > 130 \text{ cm}$).

La **Figura 43** illustra l'andamento delle tensioni attorno al foro in funzione del raggio, lungo gli assi verticale ed orizzontale.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 103 di 186

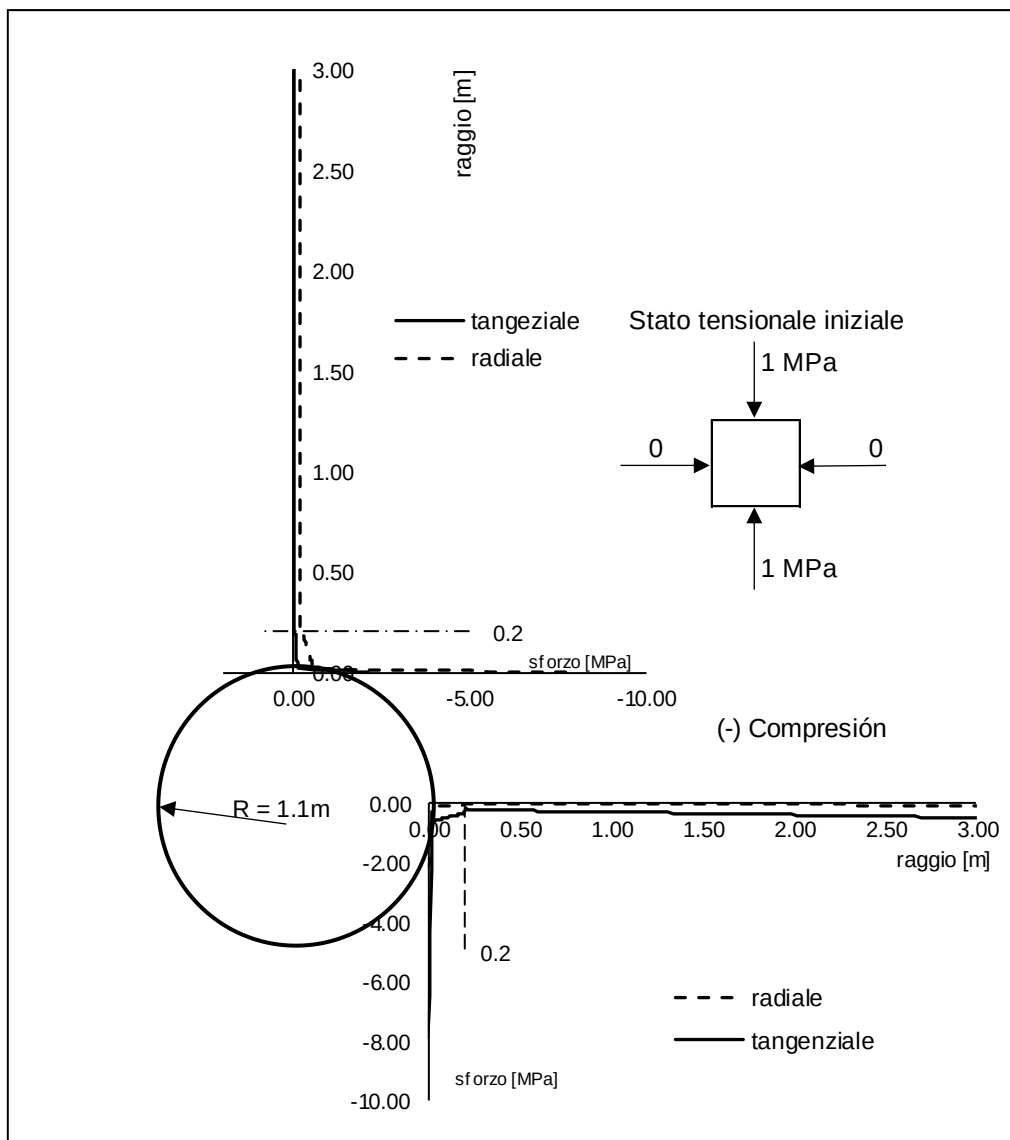


Figura 43: Ripartizione delle tensioni attorno al foro (con tubazione metallica e materiale d'iniezione).

Dalla **Figura 43** si può constatare una discontinuità nell'andamento delle tensioni tangenziali e radiali in corrispondenza del limite tra iniezione e calcestruzzo della diga. Questa discontinuità è da imputare alle differenti caratteristiche di deformabilità dei due materiali.

Analogamente al caso del foro senza tubazione metallica, le prossime tabelle riportano i coefficienti di calcolo che permettono di determinare le tensioni massime attorno al foro in funzione dello stato tensionale verticale agente prima che venga realizzato il foro.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 104 di 186

La **Tabella 53** riporta i coefficienti per il materiale d'iniezione e la **Tabella 54** per il calcestruzzo della diga.

Tensione	k2
Compressione	2.20
Trazione	-0.61

Tabella 53: Coefficienti di calcolo K2 delle tensioni nel materiale d'iniezione (con tubazione metallica).

Tensione	k3
Compressione	0.20
Trazione	-0.03

Tabella 54: Coefficienti di calcolo k3 delle tensioni massime nel calcestruzzo della diga (con tubazione metallica).

Dai valori riportati in **Tabella 53** e in **Tabella 54** si deduce quanto segue:

- La tubazione in acciaio comporta, rispetto al caso senza tubazione, una diminuzione delle tensioni massime calcolate al bordo del foro. In particolare, la compressione si riduce del 26% e la trazione si riduce del 40%.
- Le tensioni nella muratura della diga ($r \geq 1.30$ m), a causa dell'effetto combinato della tubazione metallica e della zona iniettata, sono notevolmente ridotte rispetto alla situazione senza tubazione.

Si segnala che per le verifiche in esercizio dello scarico non si considera la pressione idrostatica agente nella tubazione perché, non sono previste iniezioni di contatto e pertanto la totalità della pressione interna viene ipotizzata come sopportata dalla sola tubazione metallica.

Una volta noti i coefficienti correttivi, per poter procedere al calcolo, occorre specificare che lo stato tensionale agente sul calcestruzzo esistente e sul betoncino di riempimento sarà calcolato considerando le combinazioni di carico descritte al par. 10.4.6.

Per tener in conto di ciò, si applica il metodo di sovrapposizione tramite le due formulazioni seguenti:

- Calcolo delle tensioni estreme nel materiale d'iniezione:

$$T = k_2 \cdot (S_1 - S_0)$$

- Calcolo delle tensioni estreme nel calcestruzzo della diga:

$$T = k_1 \cdot S_0 + k_3 \cdot (S_1 - S_0)$$

dove:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 105 di 186

$k_1, \dots, k_3$	Coefficienti di calcolo come da Tabella 52 , Tabella 53 e Tabella 54
S_0	Stato tensionale senza foro al momento dell'esecuzione dei lavori con livello alla minima regolazione.
S_1	Stato tensionale senza foro per le combinazioni di carico descritte al par. 10.4.6.
T	Tensioni massime locali attorno al foro per una determinata combinazione di carico.

Le tensioni nel materiale d'iniezione e nel calcestruzzo della diga dipendono quindi dalla variazione dello stato tensionale tra la condizione iniziale senza foro con l'invaso alla minima regolazione e lo stato tensionale senza foro per le combinazioni di carico considerate.

10.7.3 Risultati

10.7.3.1 Scenario 1

La **Figura 44** mostra la distribuzione di sforzi normali all'interno del concio diga, nel caso di livello d'invaso alla quota di max. regolazione e perforazione non ancora realizzata.

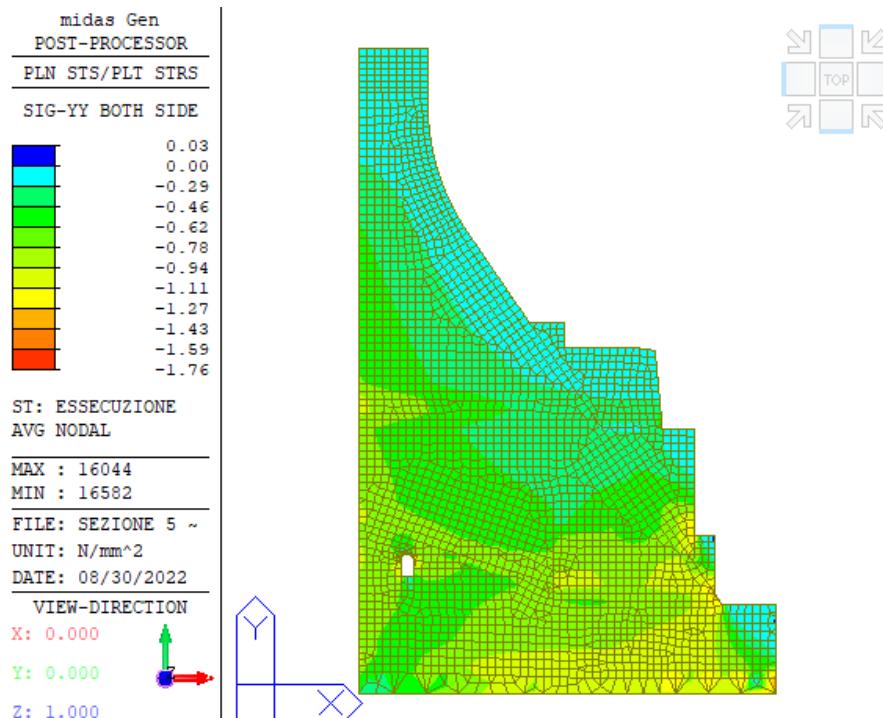


Figura 44. Sforzi verticali per livello di max. regolazione - Senza perforazione.

Nella **Tabella 27** si riporta lo sforzo verticale agente prima e dopo la perforazione per i tre punti di controllo. Le verifiche svolte, considerando la sola combinazione rara, risultano soddisfatte.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 106 di 186	

Punto di controllo	Sforzo verticale prima della perforazione [MPa]	Sforzo verticale dopo la perforazione [MPa]	Limite [MPa]
A	-0.83	-2.49	-4.25 ✓
B	-0.63	-1.89	-4.25 ✓
C	-0.78	-2.34	-4.25 ✓

Tabella 55. Tensioni verticali dopo la esecuzione della perforazione.

10.7.3.2 Scenario 2

Per quanto riguarda la fase d'esercizio, anche in questo caso lo stato tensionale è calcolato con il metodo di sovrapposizione. Le tensioni per le diverse combinazioni di carico senza perforazione sono mostrate in **Tabella 56**:

Combinazione	Punto A $\sigma_{ver,S1}$ [MPa]	Punto B $\sigma_{ver,S1}$ [MPa]	Punto C $\sigma_{ver,S1}$ [MPa]
C1	-0.944	-0.760	-1.110
C2	-1.600	-1.290	-0.470
C3	-0.553	-0.454	-1.014
C4	-0.453	-0.440	-1.070
C5	-1.430	-1.080	-0.250
C6	-0.050	-0.280	-1.260
C7	-1.740	-1.210	-0.070

Tabella 56: Tensione verticale per le diverse combinazioni di carico analizzate - Senza perforazione.

Le tensioni verticali attorno alla perforazione, calcolate tramite il metodo descritto nella sezione precedente, sono rappresentate nella **Tabella 57** per la muratura e **Tabella 58** per il betoncino di riempimento.

Combinazione	Punto A σ_{ver} [MPa]	Punto B σ_{ver} [MPa]	Punto C σ_{ver} [MPa]	Limite [MPa]	
C1	-2.644	-2.022	-2.278	-10.69	✓
C2	-2.513	-1.916	-2.406	-10.69	✓
C3	-2.435	-1.861	-2.387	-10.69	✓
C4	-2.610	-1.980	-2.234	-10.69	✓
C5	-2.415	-1.852	-2.398	-10.69	✓
C6	-2.334	-1.820	-2.436	-10.69	✓
C7	-2.672	-2.006	-2.198	-10.69	✓

Tabella 57: Tensione verticale per le diverse combinazioni di carico analizzate nella muratura attorno alla perforazione.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 107 di 186	

Combinazione	Punto A σ_{Ver} [MPa]	Punto B σ_{Ver} [MPa]	Punto C σ_{Ver} [MPa]	Limite [MPa]
C1	-0.251	-0.286	-0.726	-18.13 ✓
C2	-1.694	-1.452	0.682	-18.13 ✓
C3	0.609	0.321	-0.515	-18.13 ✓
C4	0.829	0.418	-0.638	-18.13 ✓
C5	-1.320	-0.990	1.166	-18.13 ✓
C6	1.716	0.770	-1.056	-18.13 ✓
C7	-2.002	-1.276	1.562	-18.13 ✓

Tabella 58: Tensione verticale per le diverse combinazioni di carico analizzate nel betoncino di riempimento attorno alla perforazione.

Delle tabelle precedenti si può osservare che le verifiche siano soddisfatte per tutte le combinazioni di carico sia nella muratura che nel betoncino di riempimento. Si fa notare che nel betoncino si sviluppano tensioni di trazione; queste tensioni non si considerano critiche visto che il betoncino ha una resistenza a trazione ammissibile pari a 2.52 MPa. Tale valore è stato ottenuto dividendo la resistenza caratteristica media a trazione per un fattore pari a 1.2 come indicato al capitolo IV 2.2 delle linee guida per l'applicazione della NTD2014 e NTC2018. Si segnala tuttavia che per evitare che il betoncino si fessuri si ritiene comunque sia opportuno prevedere un'armatura disposta attorno alla tubazione in prossimità della sezione di ingresso dello scarico. L'armatura prevista sarà dunque una rete elettrosaldata $\phi 8\text{mm}/100 \times 100$.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 108 di 186	

11. RISPOSTA ALLA PRESCRIZIONI D'ISTRUTTORIA

Come indicato nella Relazione Istruttoria [6], per il prosieguo dell'iter approvativo del progetto del nuovo scarico di fondo risulta vincolante adempiere alle richieste di integrazione al progetto definitivo, con particolare riferimento al capitolo 4.1 – Aspetti idrologici e idraulici, punto k):

Dovranno comunque essere eseguite verifiche del regime delle velocità della corrente nel tratto della nuova condotta, al fine di verificare che gli spessori previsti siano efficaci nel tempo, ovvero non sia necessario procedere ad una blindatura del tratto a maggiori velocità: tale aspetto è stato affrontato nella prima redazione del progetto di ripristino dello scarico di fondo; la verifica dello spessore della tubazione era riportata nella relazione idrologica e idraulica per le condizioni di carico più sfavorevoli, ossia massima pressione positiva (verso l'esterno) e massima pressione negativa (verso l'interno). In particolare, per la verifica della seconda condizione di esercizio, con un coefficiente di sicurezza pari a 2, risulterebbe necessario uno spessore di 27 mm; quindi per rafforzare la lamiera spessa 15 mm, si era previsto di irrigidire la condotta tramite corniere o usufruendo della collaborazione del calcestruzzo. In conclusione si sosteneva che nel primo caso, il dimensionamento delle corniere sarebbe effettuato dal fornitore in sede di progettazione costruttiva della condotta, mentre nel secondo caso si ipotizzava l'uso del betoncino di intasamento come rinforzo della struttura e solidarizzazione tramite appositi connettori (tipo pioli, ferri sagomati, ecc.) saldati alla lamiera e di altezza pari a 10 cm. Anche in questo caso, alla luce di quanto affermato in occasione della riunione in vcf tenutasi il 02/12/2020, appare opportuno rimandare tale approfondimento alla successiva fase di progettazione, nella quale sarà necessario verificare la compatibilità delle velocità del flusso idrico con la nuova condotta.

Durante la fase di progetto definitivo il dimensionamento sotto l'azione della pressione esterna era stato eseguito considerando la condotta esposta, analisi abbastanza conservativa legata al fatto che tale condizione di carico può svilupparsi unicamente durante lo svuotamento dell'invaso; i calcoli eseguiti avevano messo in luce la necessità di una condotta avente spessore 27 mm o di una di spessore 15 mm con corniere.

In questa fase progettuale si è preso in conto il contributo dovuto all'appoggio laterale della malta di riempimento e della muratura che circonda la condotta. Questa ipotesi consente di verificare che la condotta, progettata con uno spessore di 15 mm e in assenza di irrigidimenti, sia in grado di sopportare l'azione della pressione interna (agente durante le condizioni di esercizio dell'impianto) e l'azione della pressione esterna durante le fasi di manutenzione e costruzione.

Inoltre, nel tratto terminale a monte delle paratoie, si prevede l'installazione di un blindaggio avente la funzione di resistere alla pressione generata dall'acqua contenuta nell'invaso e di proteggere il

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 109 di 186	

calcestruzzo all'esterno di esso. Il blindaggio sarà irrigidito da profili a "T" disposti ad interasse quindici centimetri e di spessore 15 mm, con il fine di favorire l'ancoraggio con il calcestruzzo e fornire maggiore rigidità alla lamiera in acciaio di rivestimento del vano.

Lo spessore di progetto della condotta e del blindaggio sono tali da garantire le compatibilità delle velocità del flusso in uscita con le prestazioni dei materiali che li costituiscono.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	Data 22/12/2023
		Pagina 110 di 186

12. CONCLUSIONI

Enel Green Power Italia S.r.l. – O&M Hydro Italy – Area Centro Nord – Unità Territoriale di Cagliari, nel seguito Enel GP, Gestore dell'impianto idroelettrico di Coghinas, nel Comune di Oschiri (SS), ha incaricato nel luglio 2020 Lombardi SA per attività d'ingegneria relative alla diga di Muzzone.

Obiettivo dell'incarico è la progettazione esecutiva dell'intervento di ripristino dello scarico di fondo, da sviluppare sulla base del progetto definitivo realizzato da Enel GP nell'aprile del 2016 ed approvato dall'Autorità di Controllo, Ufficio Tecnico per le Dighe di Cagliari (in seguito, UTDCA), Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche (in seguito, DGD) del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con nota n. 30952 del 29/11/2019. Rispetto al progetto definitivo approvato, Lombardi SA ha proposto in fase di progettazione esecutiva l'innalzamento dello sbocco del nuovo scarico di fondo, con quota terminale dell'asse che passa dalla quota 113.10 m s.l.m. alla quota 121.20 m s.l.m.

Scopo del presente rapporto è la redazione della Relazione Strutturale di base per lo sviluppo della soluzione progettuale dell'intervento di ripristino dello scarico di fondo a livello di Progetto Esecutivo. In particolare, si descrive il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche strutturali eseguite per i seguenti elementi:

- camera di manovra esterna delle paratoie;
- salto di sci e blindaggio a monte delle paratoie;
- blocco di ancoraggio in corrispondenza del gomito della condotta;
- condotta di scarico.

I risultati ottenuti a seguito dei calcoli hanno portato alle seguenti evidenze:

- La camera di manovra delle paratoie risulta verificata a flessione e taglio (SLU). La verifica a fessurazione (SLE) non mostra situazioni critiche e la verifica delle tensioni è soddisfatta con buoni margini di sicurezza;
- Il salto di sci risulta verificato a taglio e pressoflessione (SLU). La verifica a fessurazione (SLE) non mostra situazioni critiche ed allo stesso modo la verifica delle tensioni è soddisfatta con un sufficiente margine di sicurezza.
- Il blindaggio della camera di manovra delle paratoie è stato verificato a taglio e flessione (SLU) con esito positivo. La verifica della deformazione massima è anch'essa soddisfatta.
- Le verifiche strutturali e a capacità del blocco d'ancoraggio SLU risultano soddisfatte.
- La condotta è stata verificata sotto l'azione delle pressioni interne ed esterne. La verifica tensionale è superata con buoni margini di sicurezza.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 111 di 186	

Per quanto riguarda gli effetti dovuti alla perforazione, dai risultati ottenuti si osserva che quest'ultima non incide considerevolmente sullo stato tensionale. Sebbene le tensioni aumentino rispetto allo stato attuale, i valori rimangono entro i limiti richiesti dalla NTD14 sia allo stato limite di esercizio (SLE e SLD), che allo stato limite ultimo (SLU e SLC).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 112 di 186	

ALLEGATO A

Sollecitazioni allo SLU ottenuti dal modello di calcolo – Camera di manovra delle paratoie

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 113 di 186	

Gli sforzi presentati sono definiti in base all'asse locale degli elementi (rosso 11, verde 22, ciano 33).

Copertura

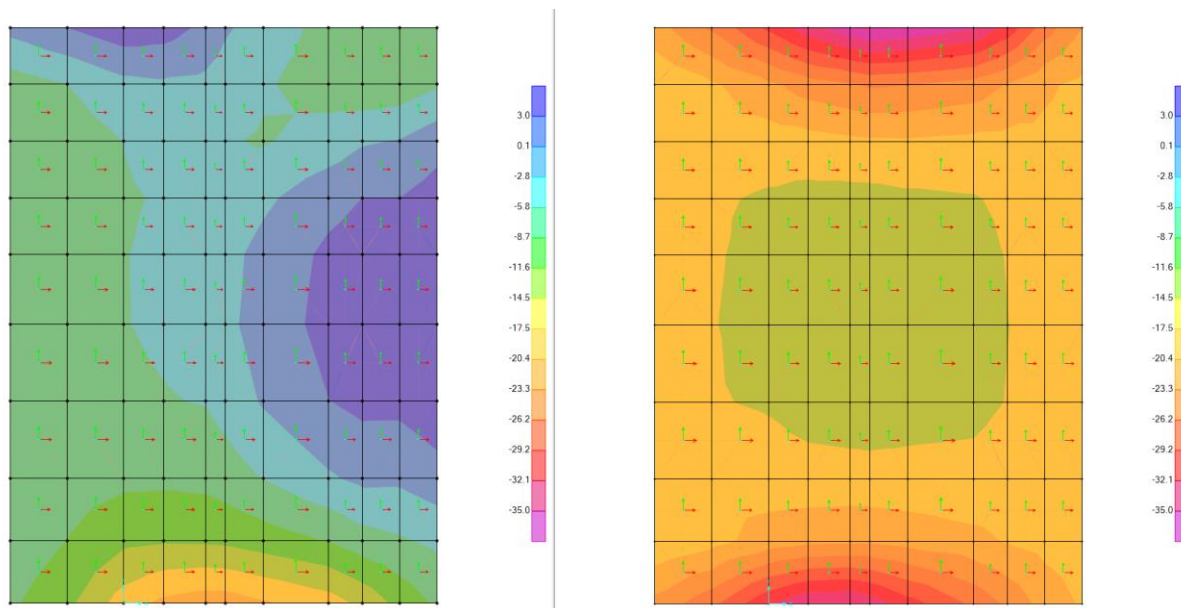


Figura 45: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

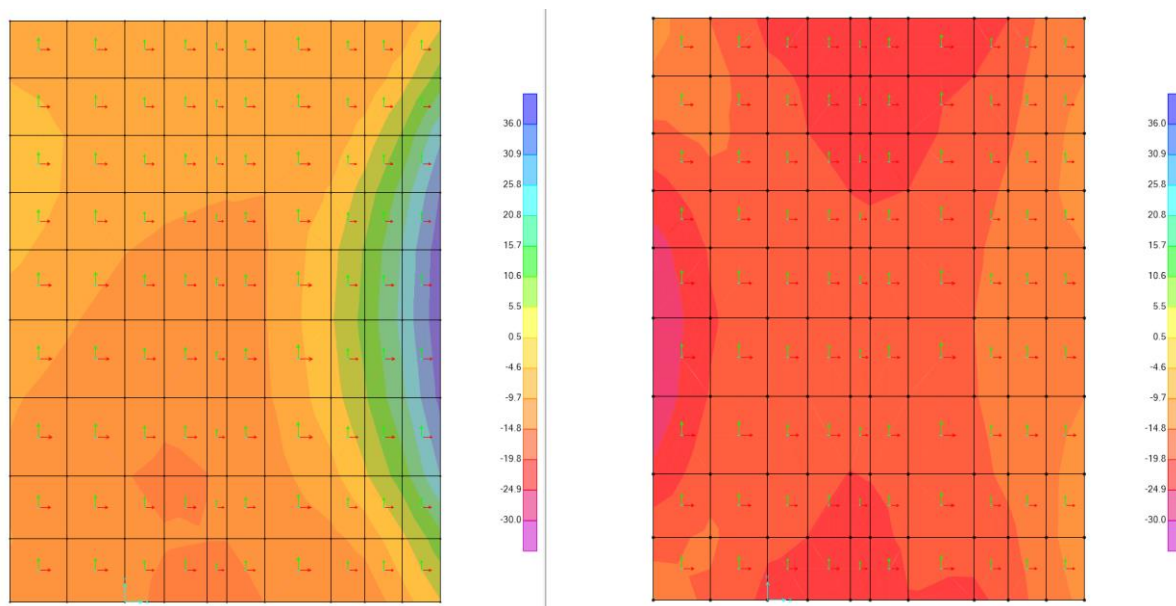


Figura 46: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 114 di 186

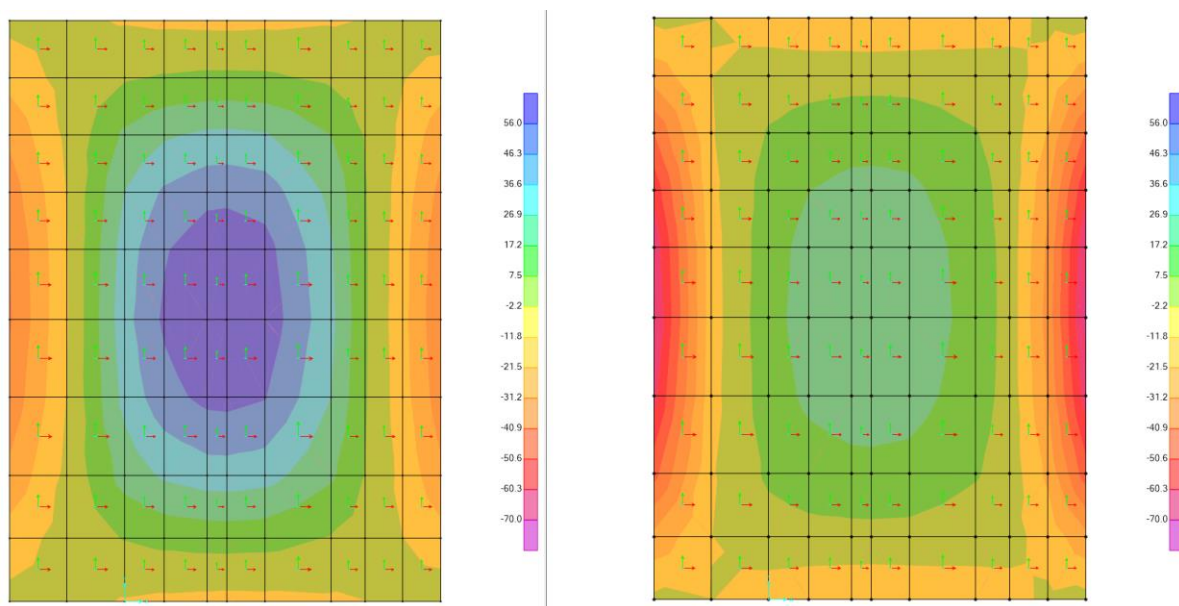


Figura 47: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

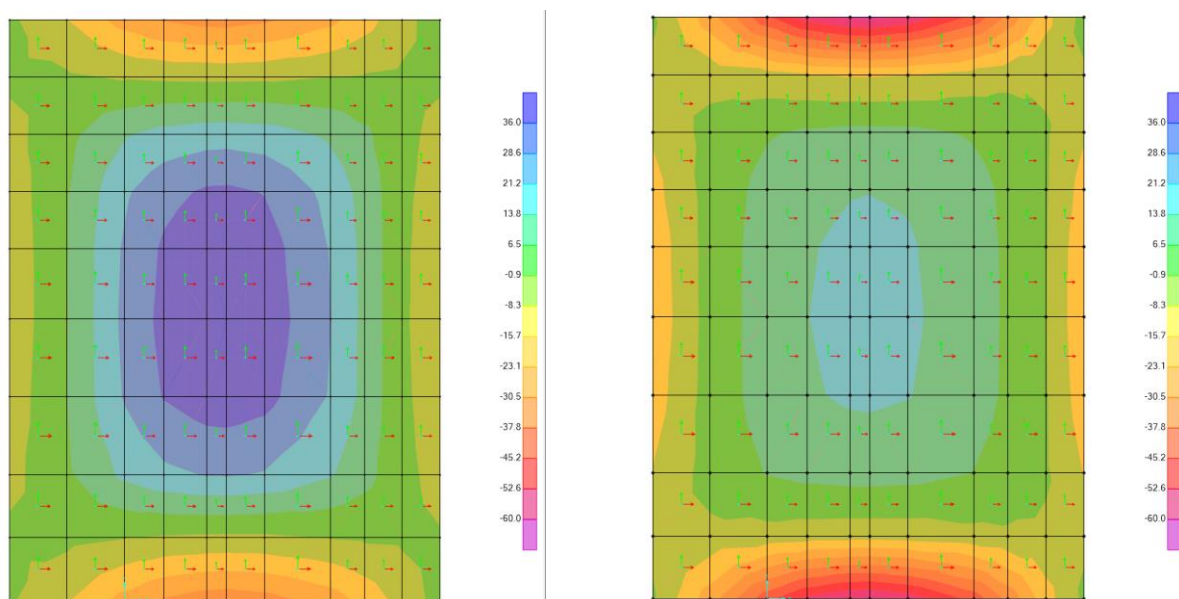


Figura 48: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo		Data 22/12/2023
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		Pagina 115 di 186

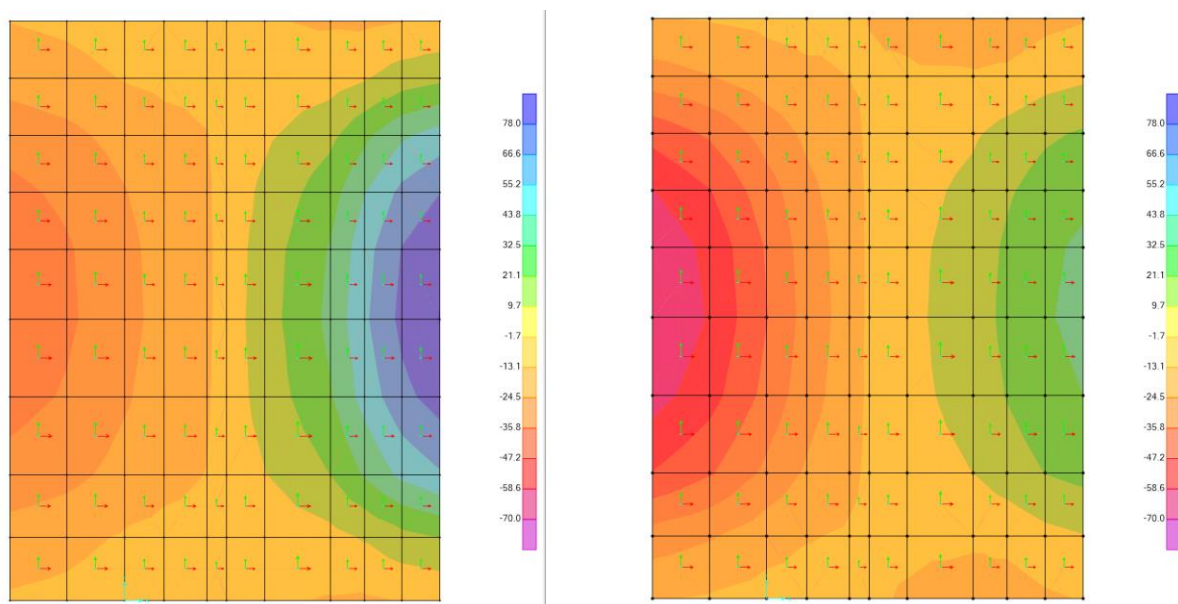


Figura 49: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

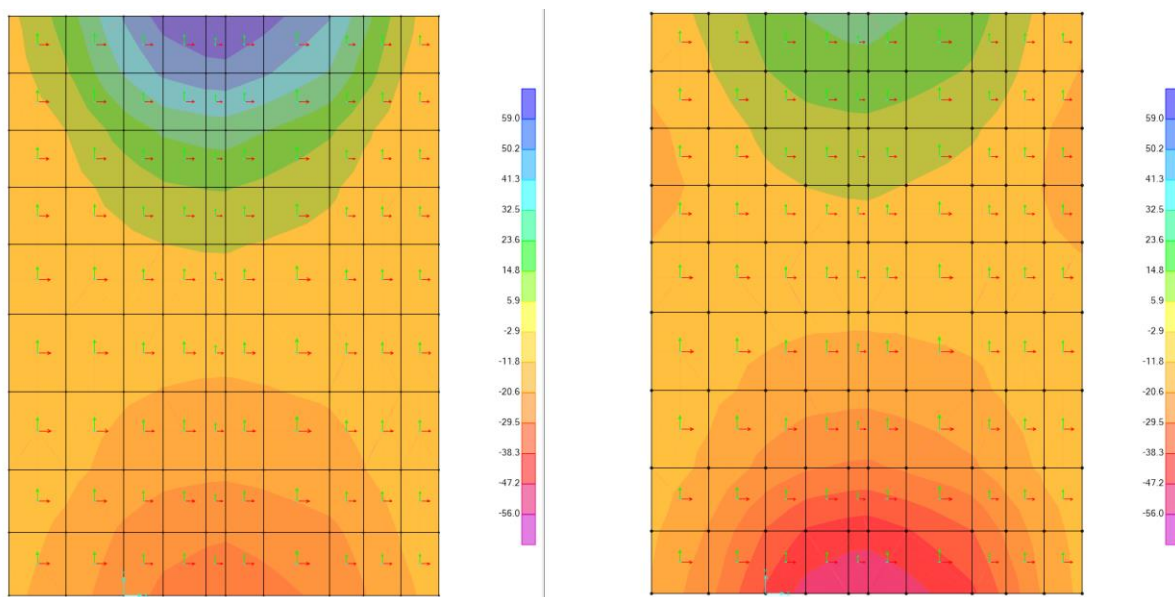


Figura 50: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 116 di 186

Muro frontale

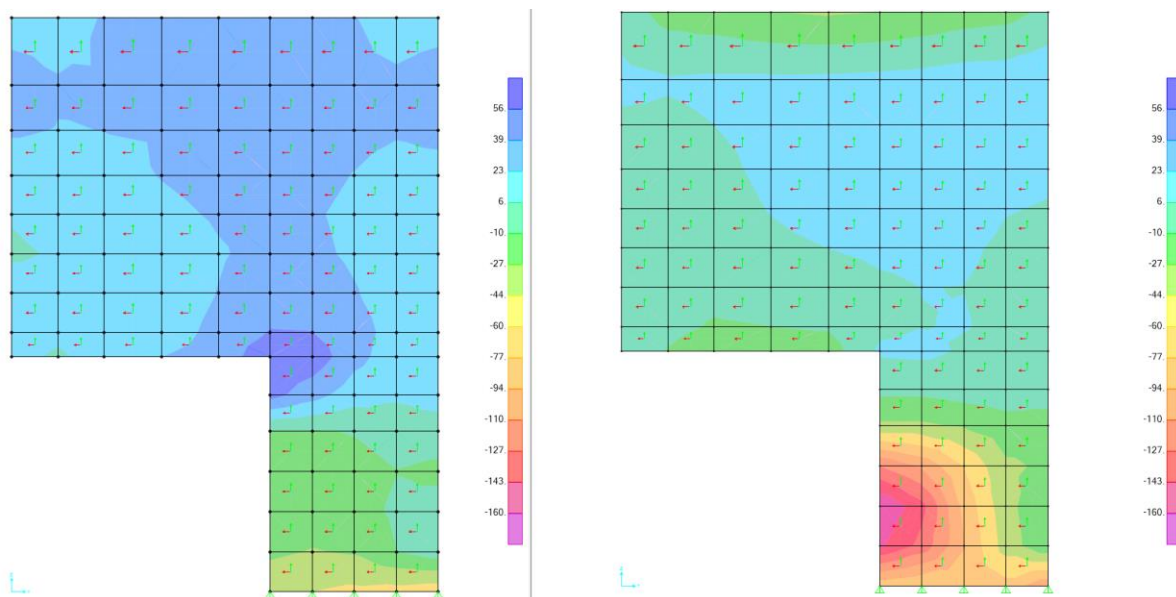


Figura 51: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

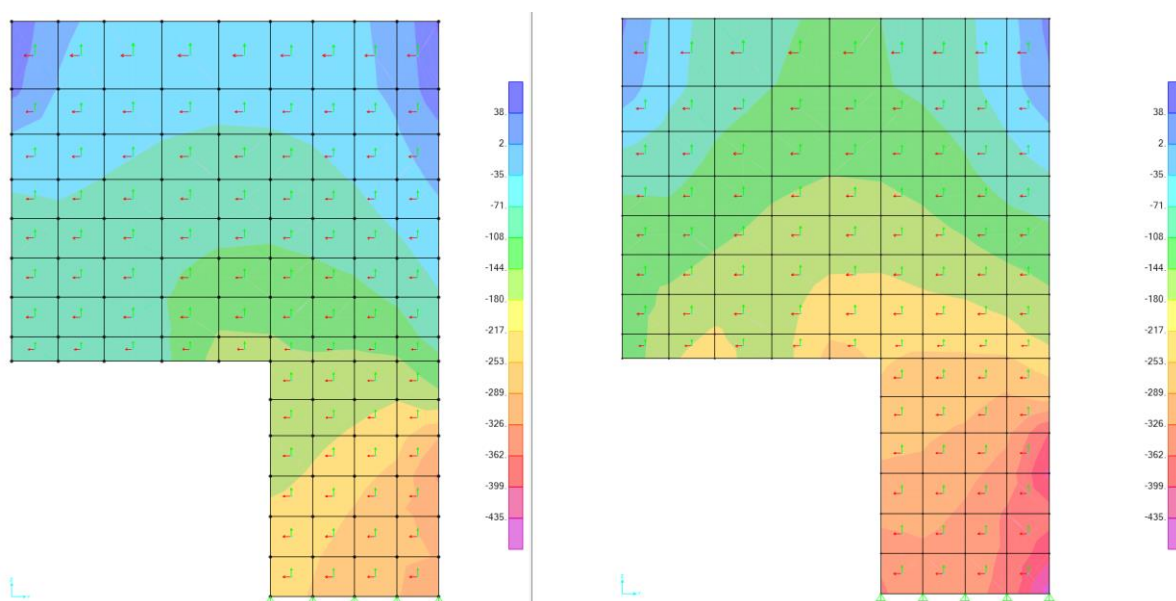


Figura 52: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 117 di 186

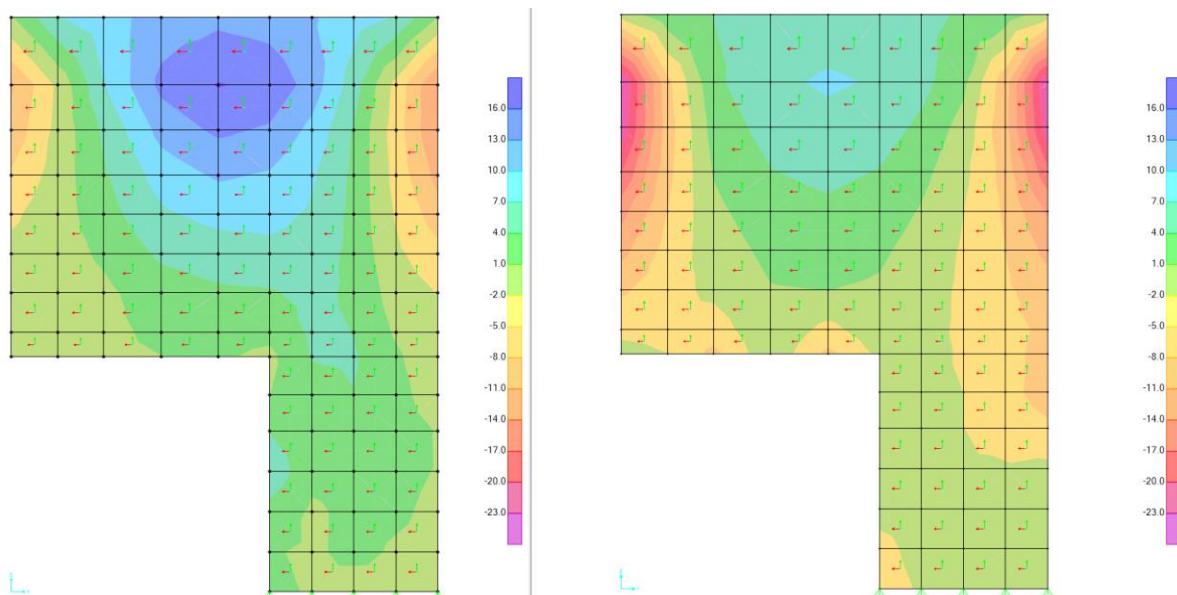


Figura 53: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

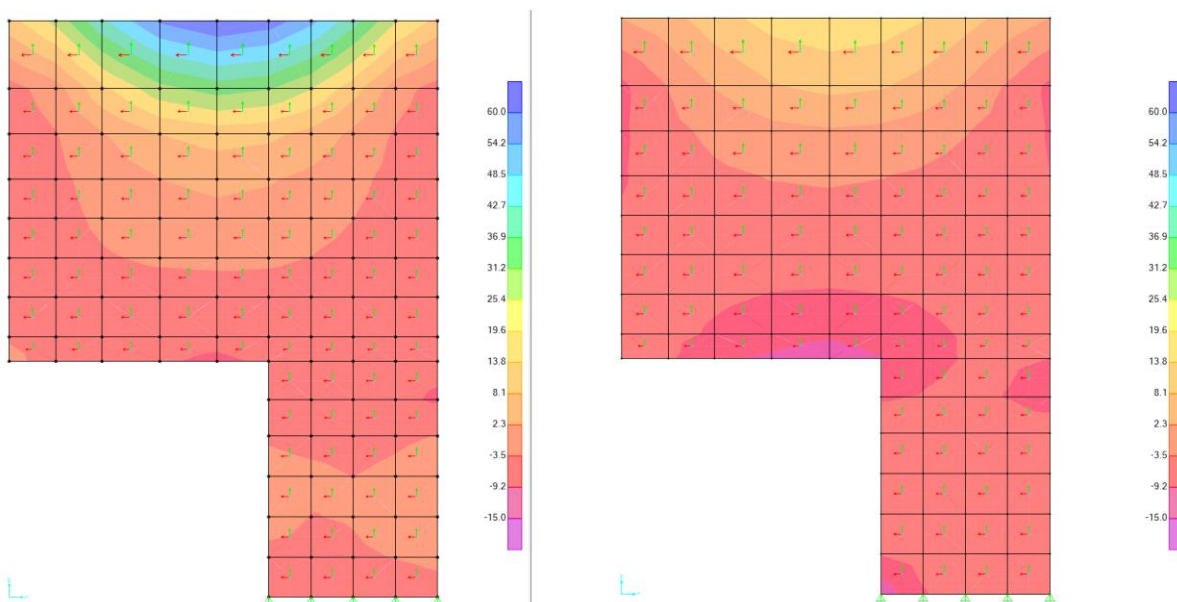


Figura 54: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 118 di 186

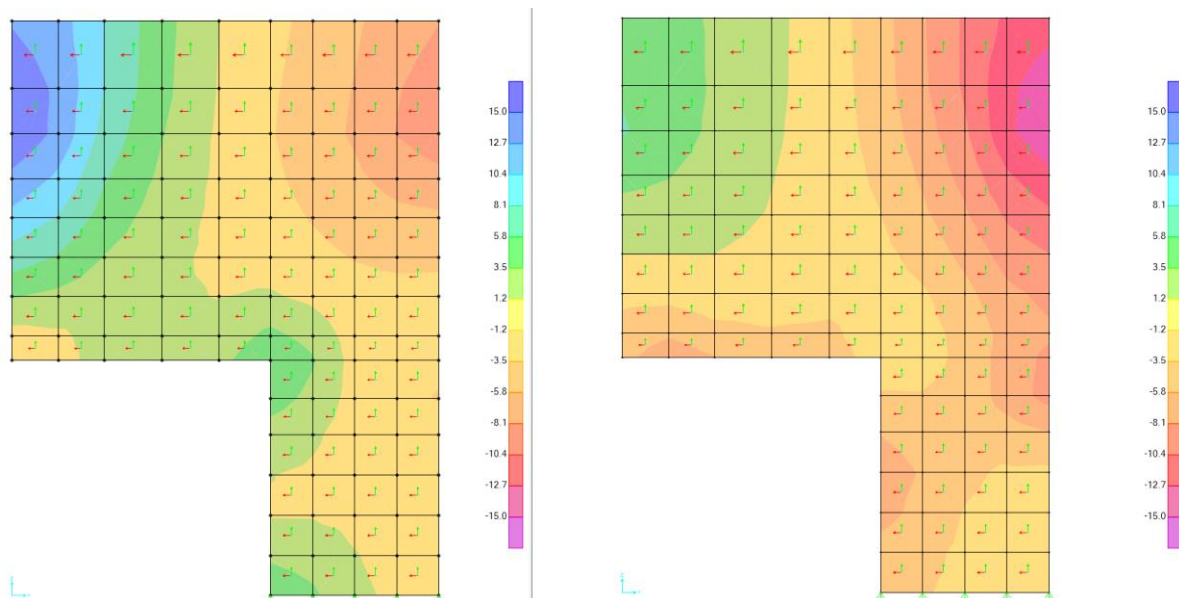


Figura 55: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

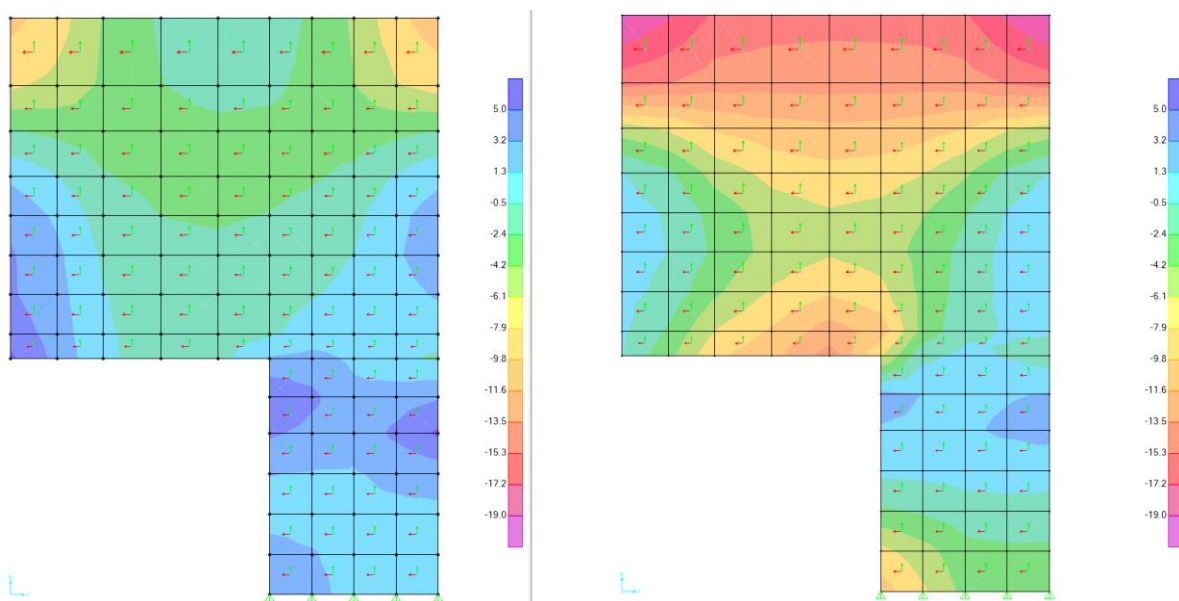


Figura 56: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 119 di 186

Muro posteriore

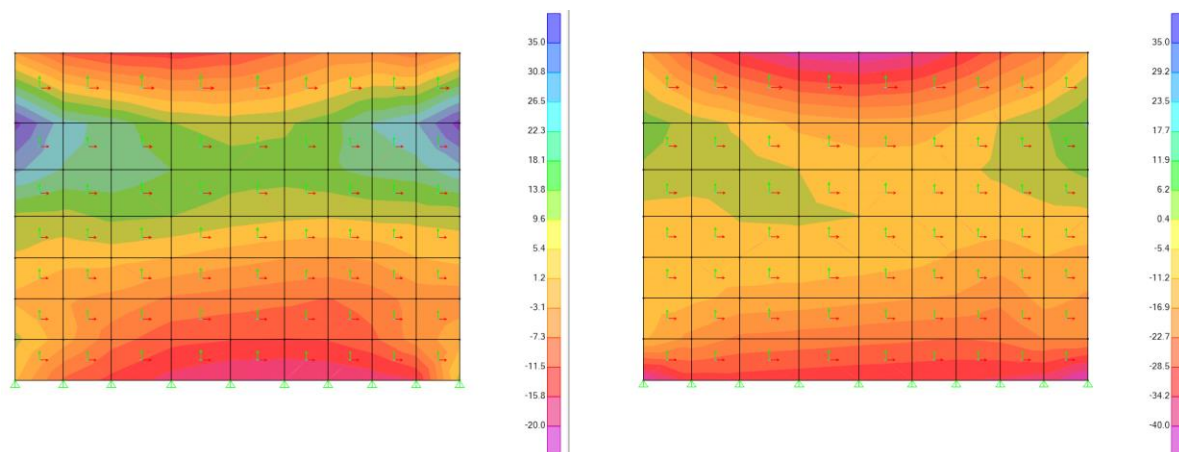


Figura 57: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

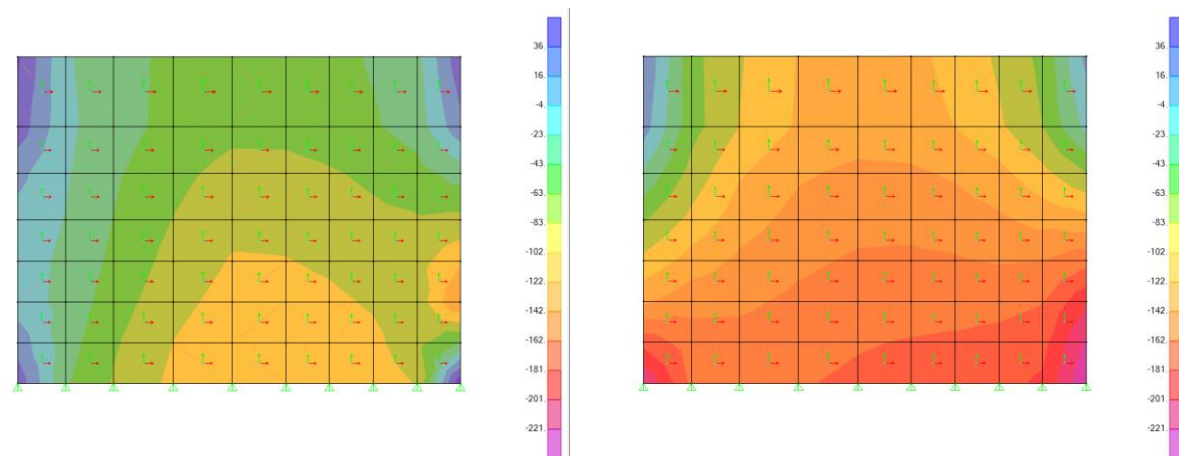


Figura 58: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 120 di 186

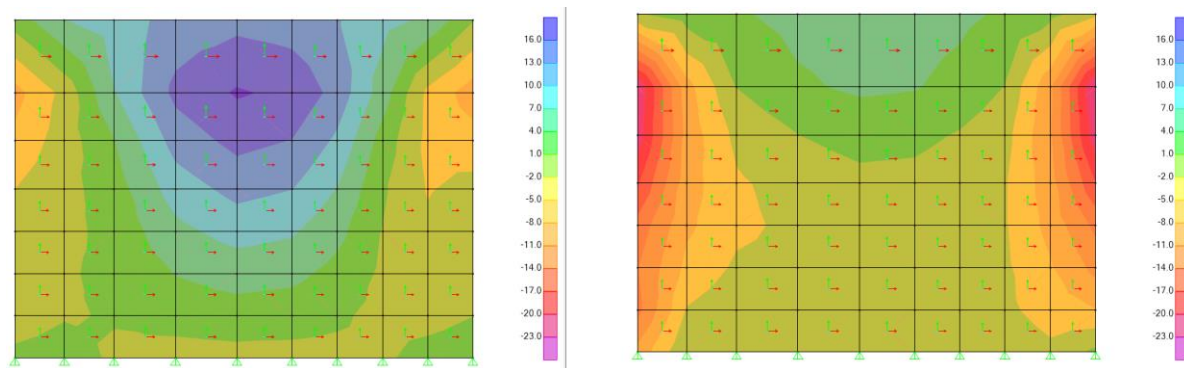


Figura 59: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

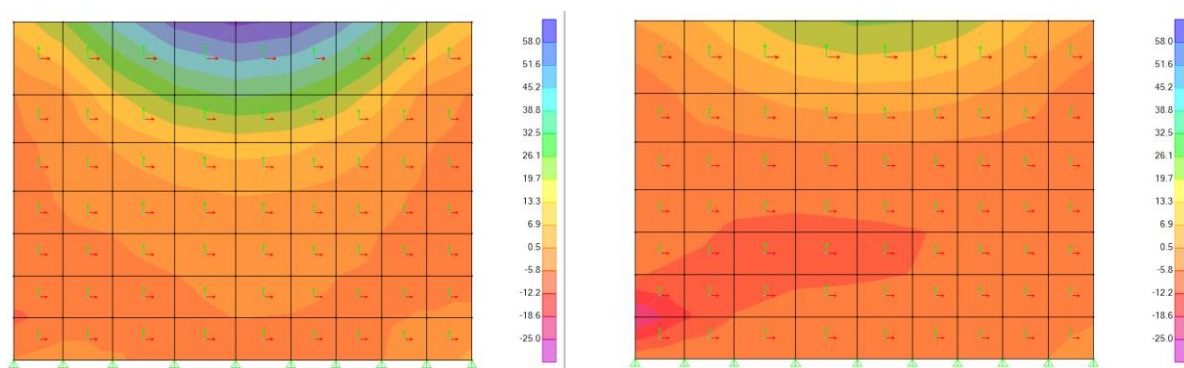


Figura 60: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 121 di 186

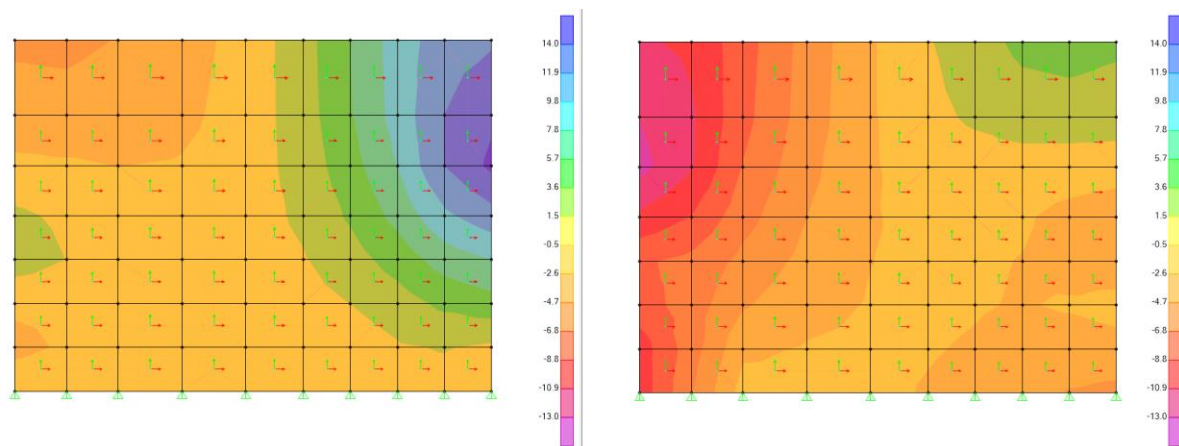


Figura 61: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

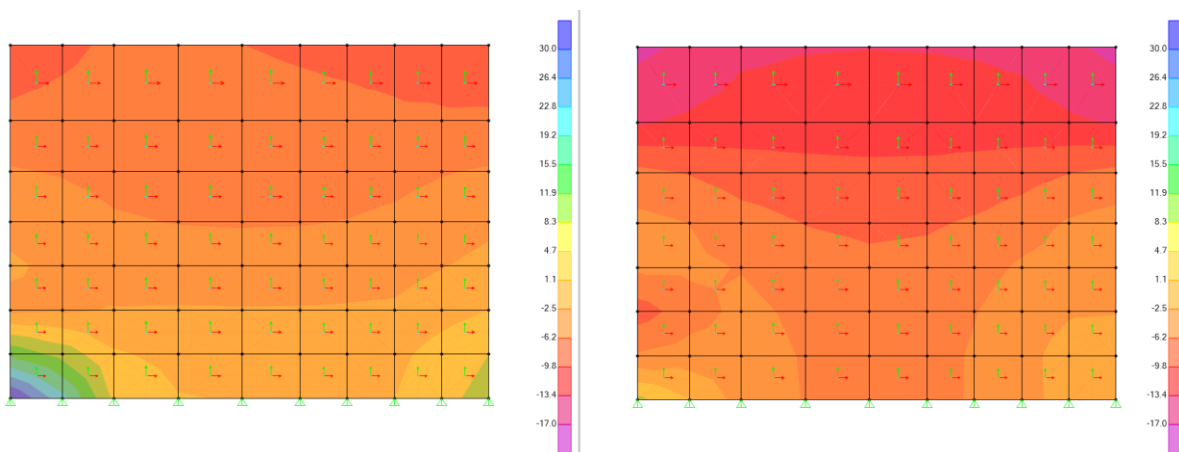


Figura 62: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 122 di 186

Muro destro

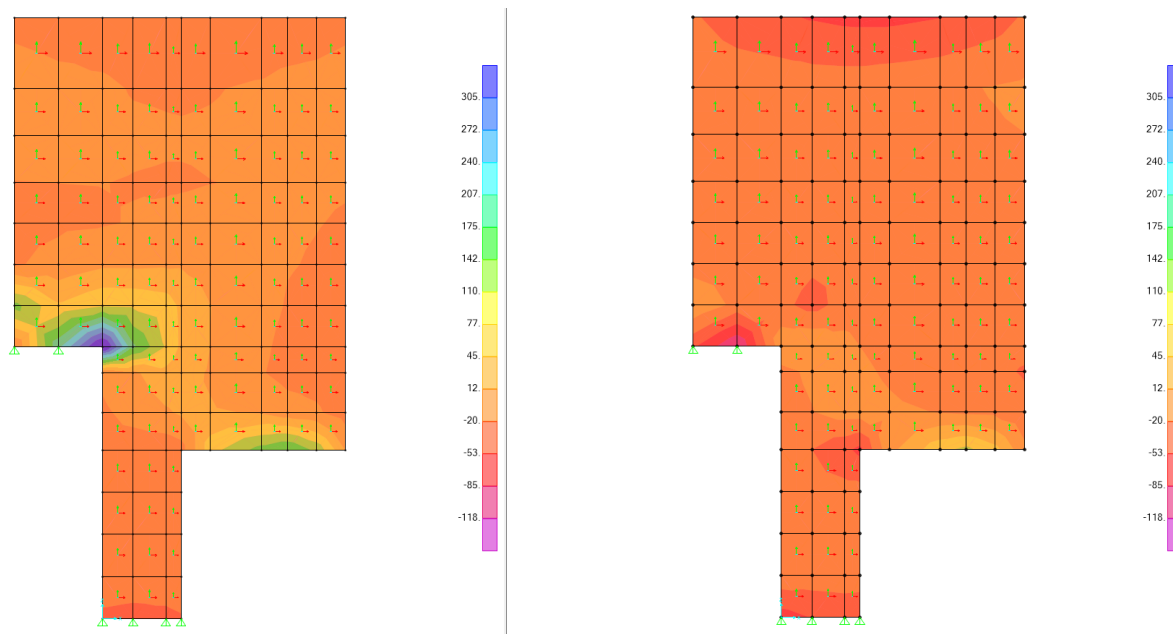


Figura 63: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

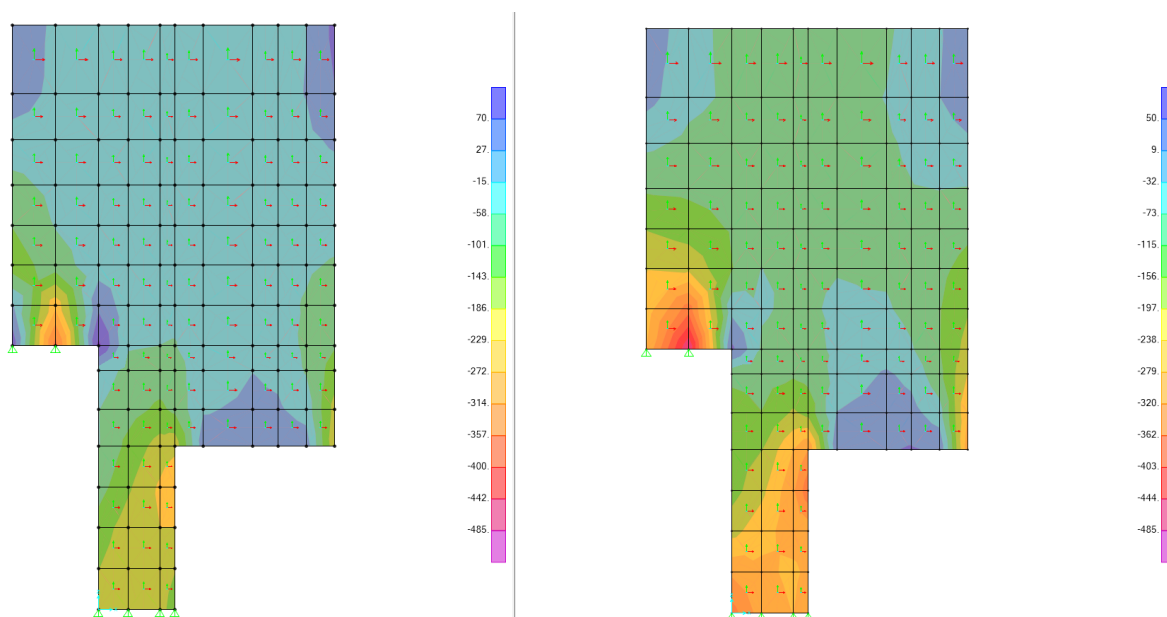


Figura 64: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 123 di 186

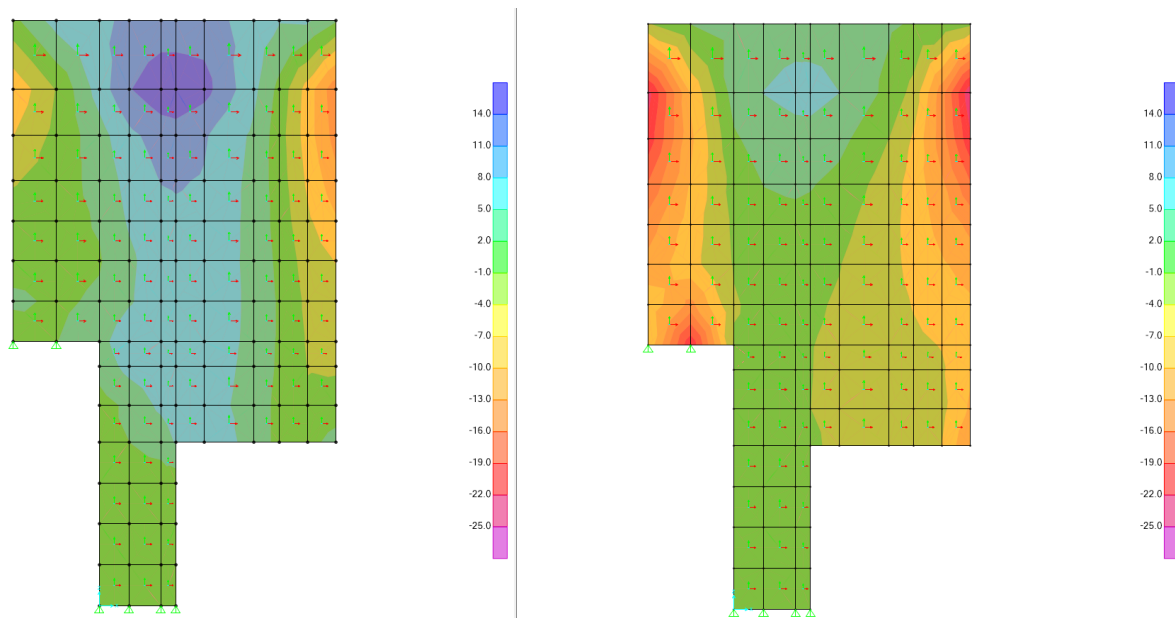


Figura 65: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

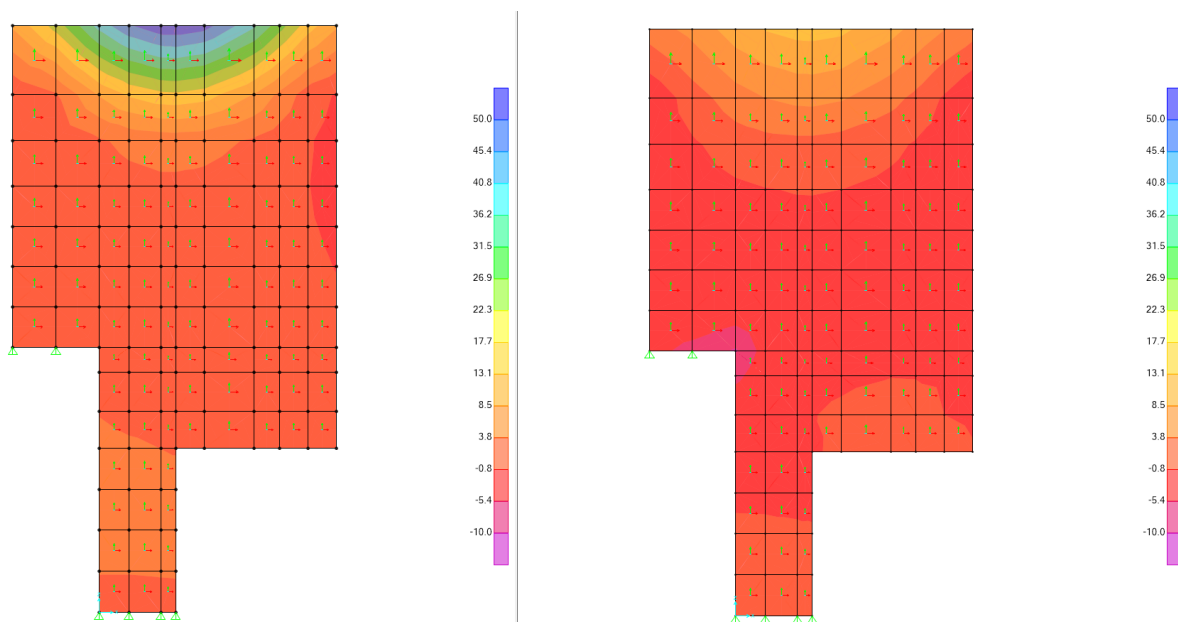


Figura 66: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 124 di 186

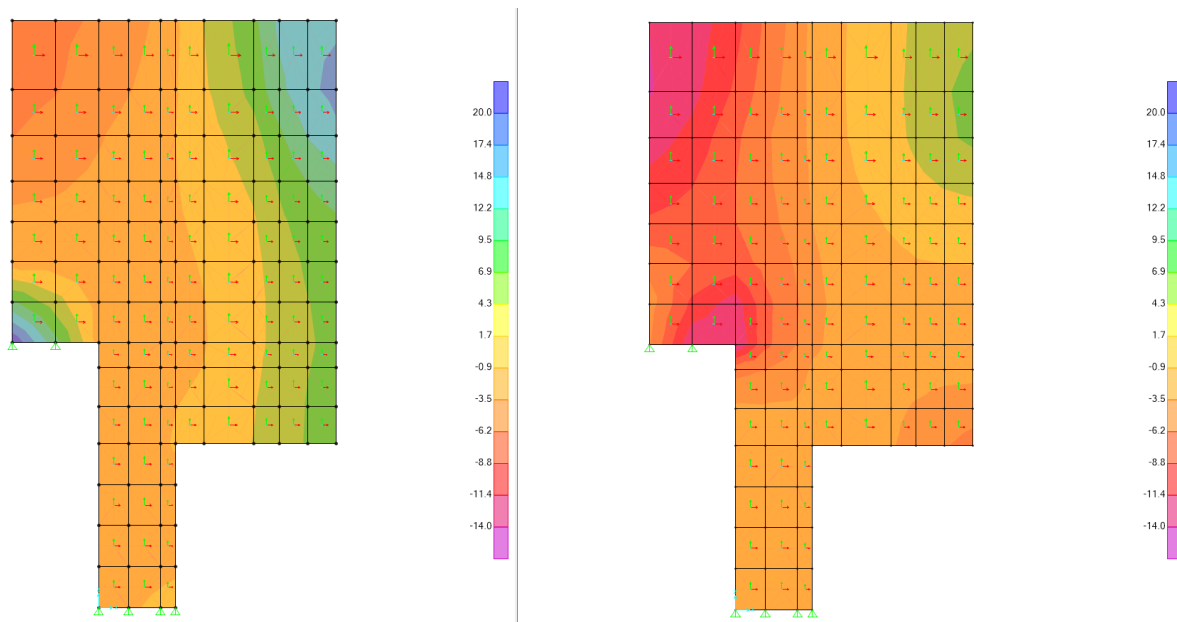


Figura 67: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

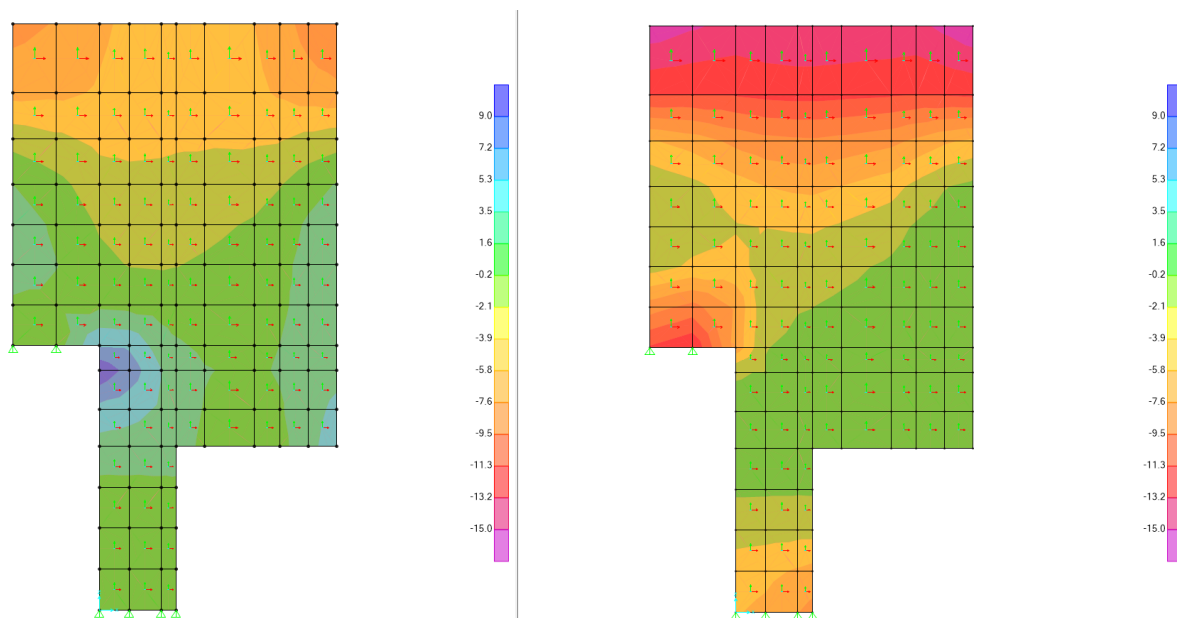


Figura 68: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo		Data 22/12/2023
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		Pagina 125 di 186

Muro sinistro

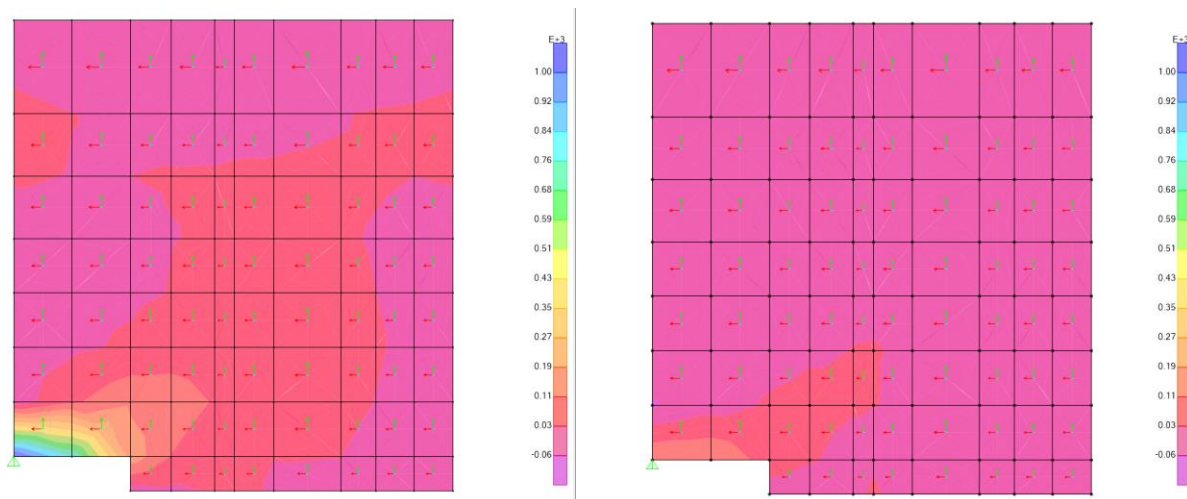


Figura 69: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

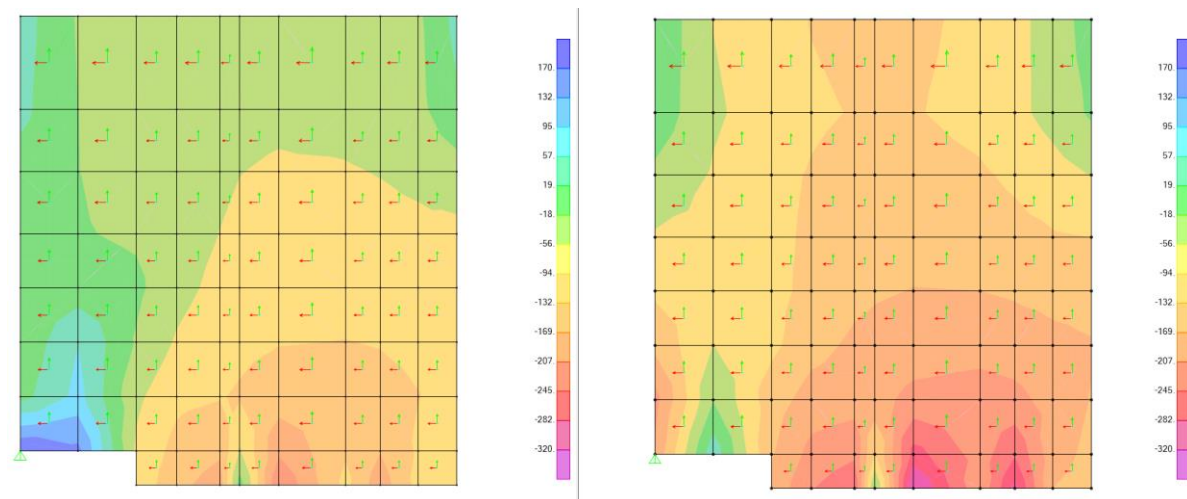


Figura 70: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas		CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		Data 22/12/2023
			Pagina 126 di 186

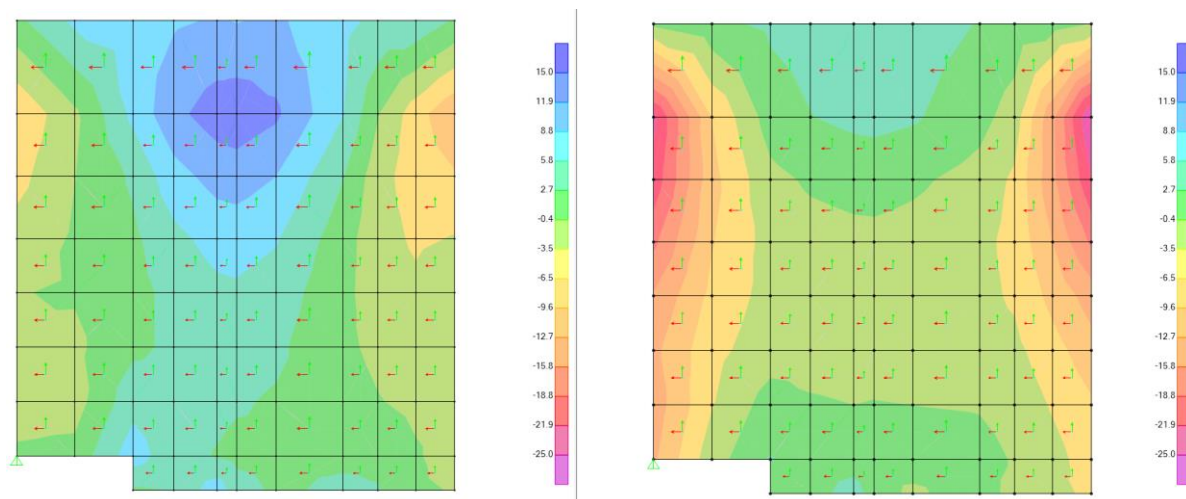


Figura 71: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

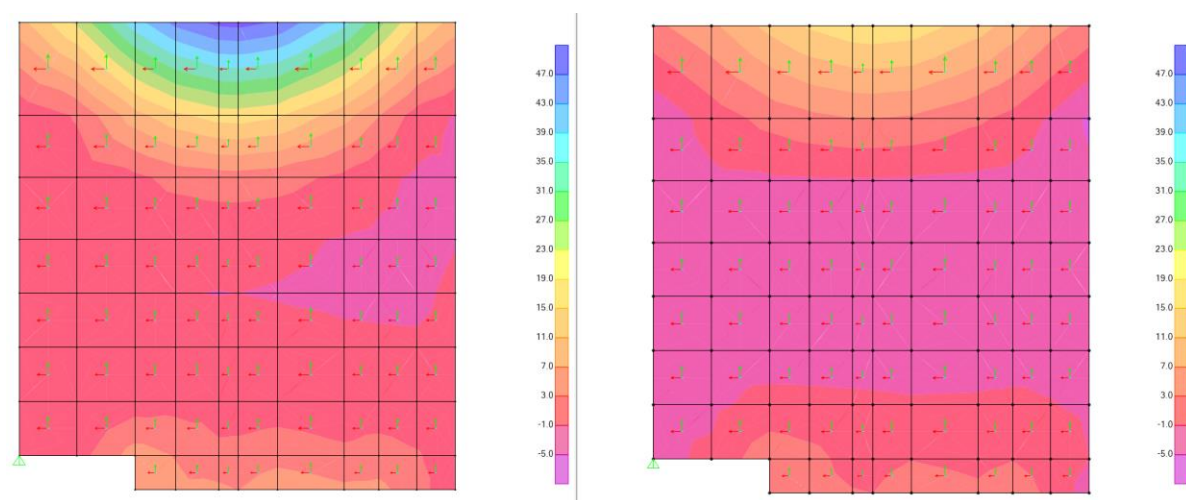


Figura 72: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 127 di 186

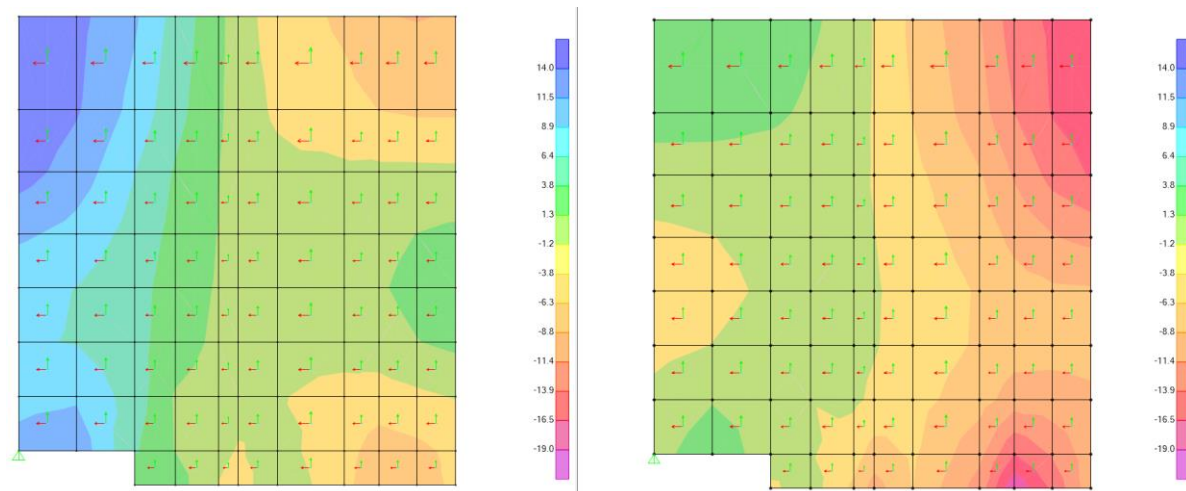


Figura 73: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

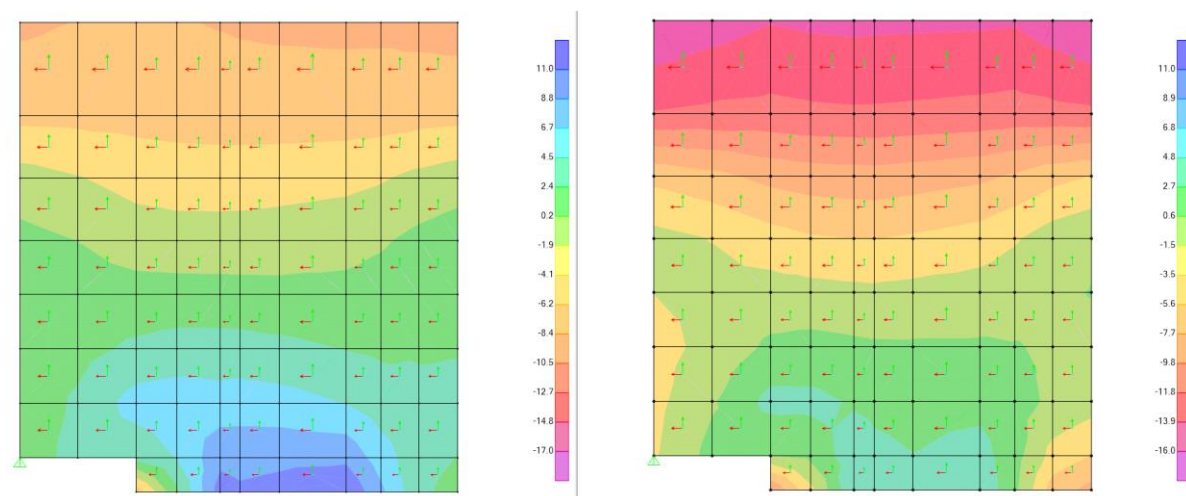


Figura 74: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 128 di 186

Platea di base

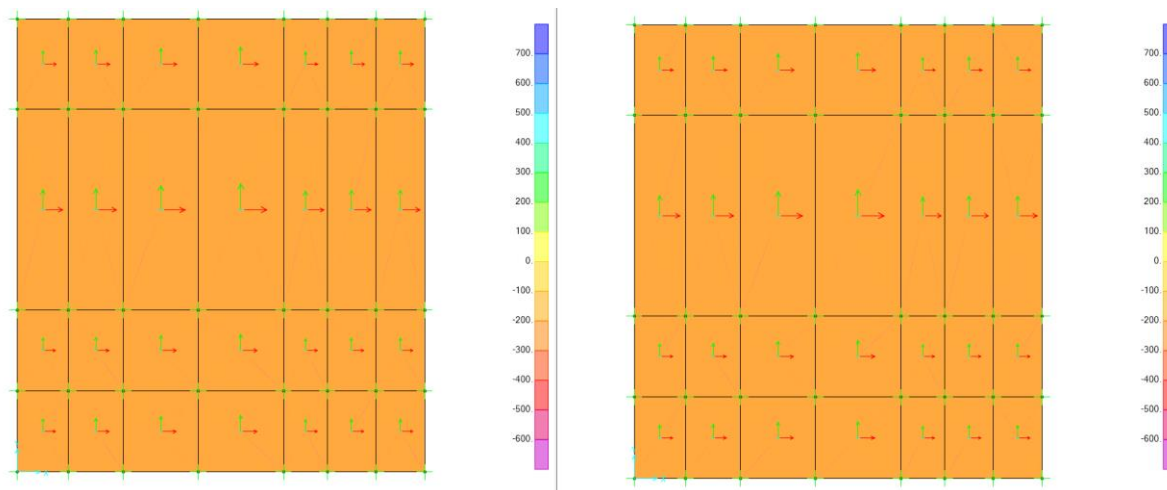


Figura 75: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

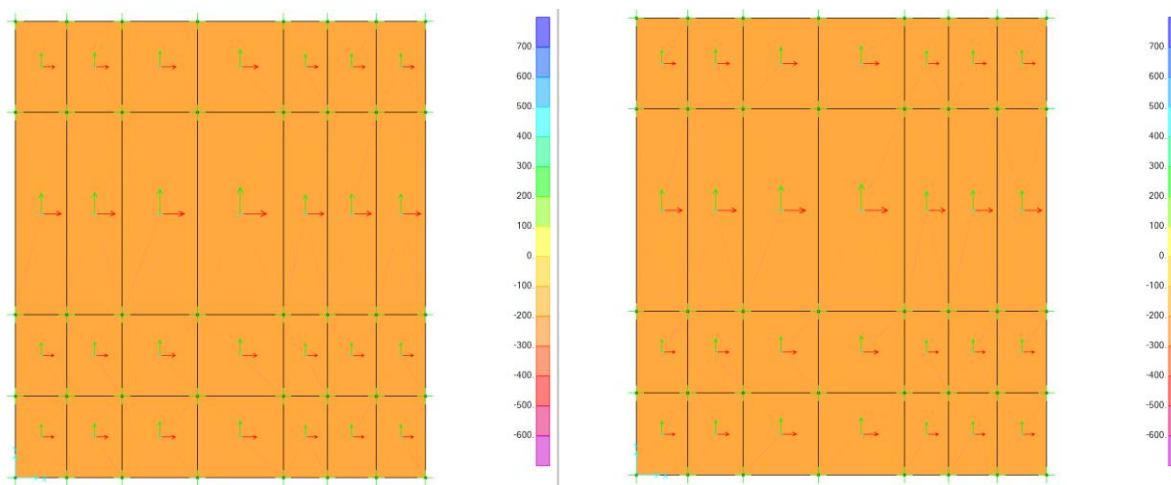


Figura 76: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo		Data 22/12/2023
	<i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		Pagina 129 di 186

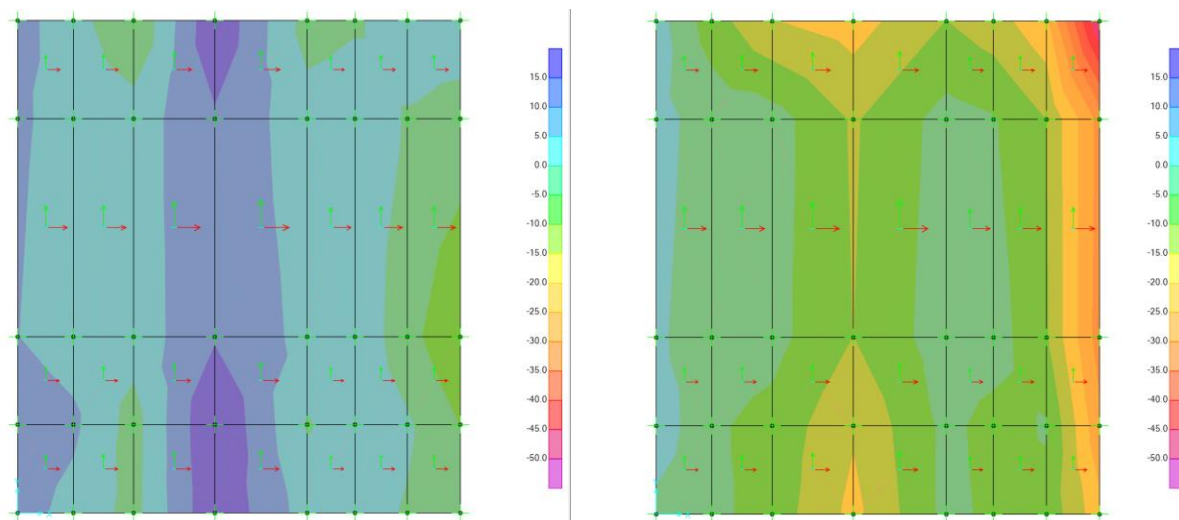


Figura 77: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

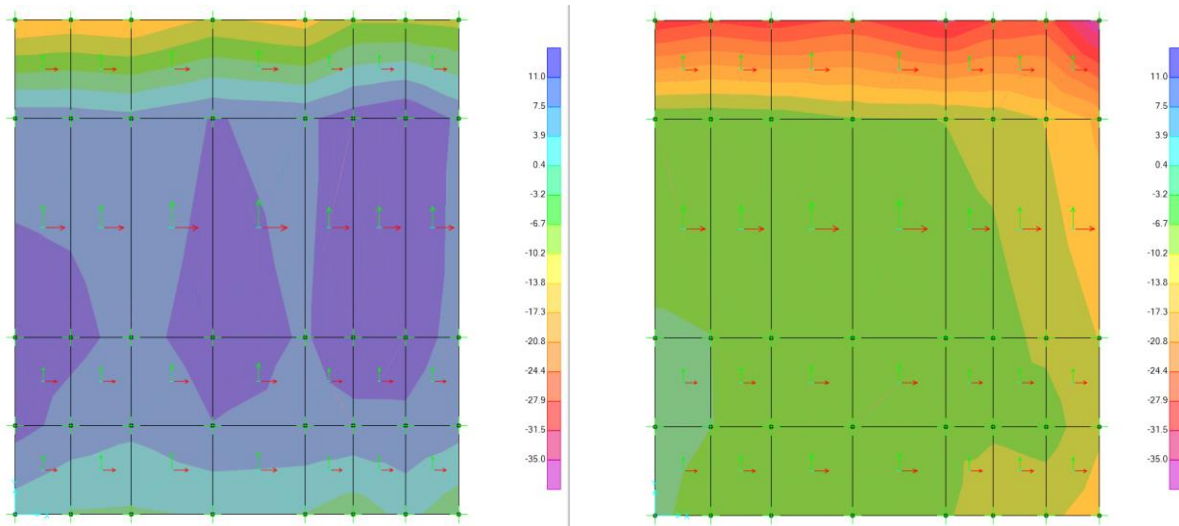


Figura 78: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas		CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 130 di 186

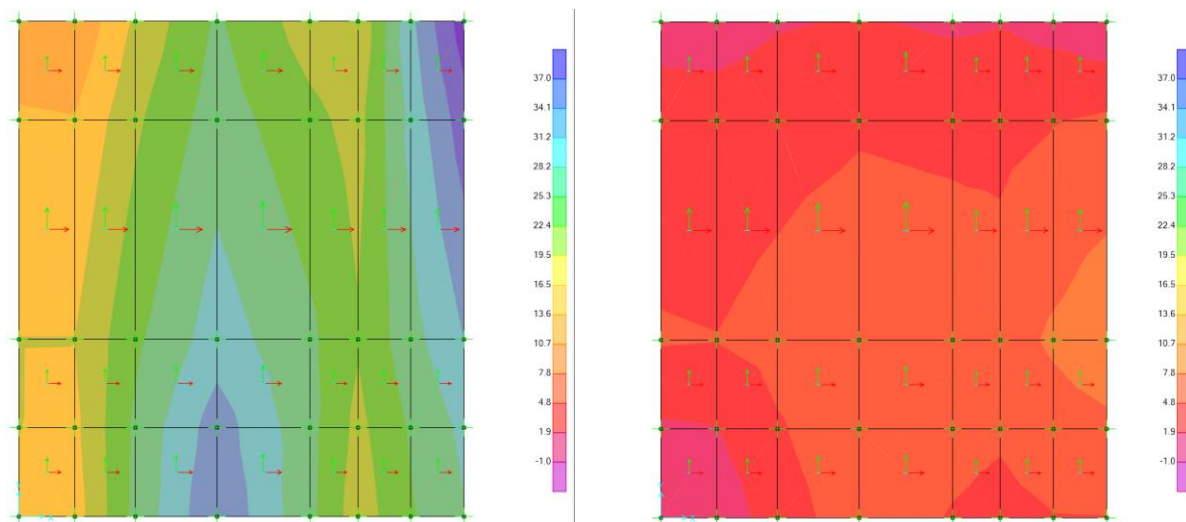


Figura 79: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

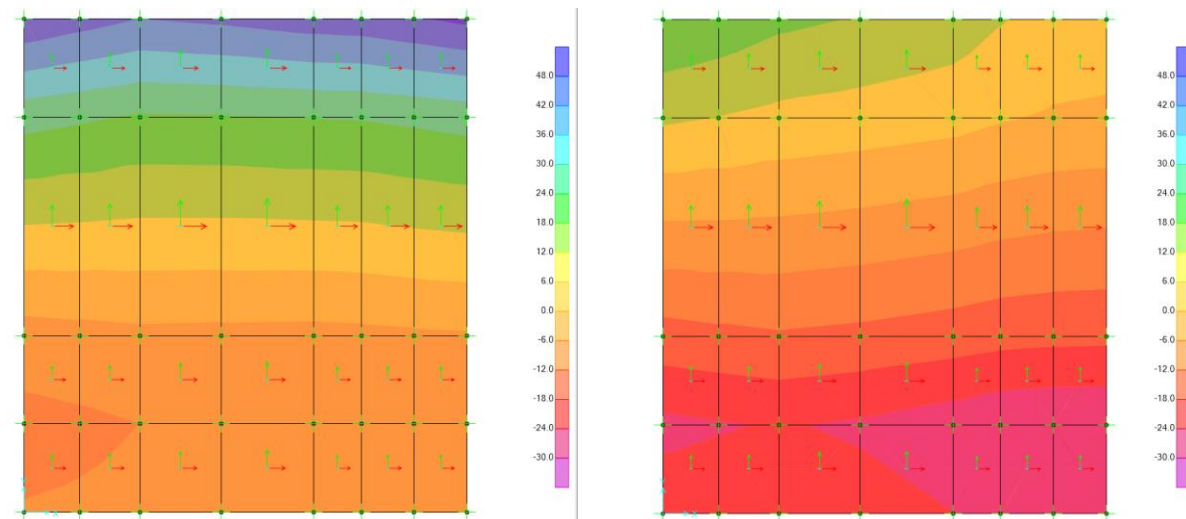


Figura 80: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massime a sinistra, minime a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 131 di 186	

ALLEGATO B

Sollecitazioni allo SLE ottenuti dal modello di calcolo – Camera di manovra delle paratoie

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 132 di 186

Gli sforzi presentati sono definiti in base all'asse locale degli elementi (rosso 11, verde 22, ciano 33).

Copertura

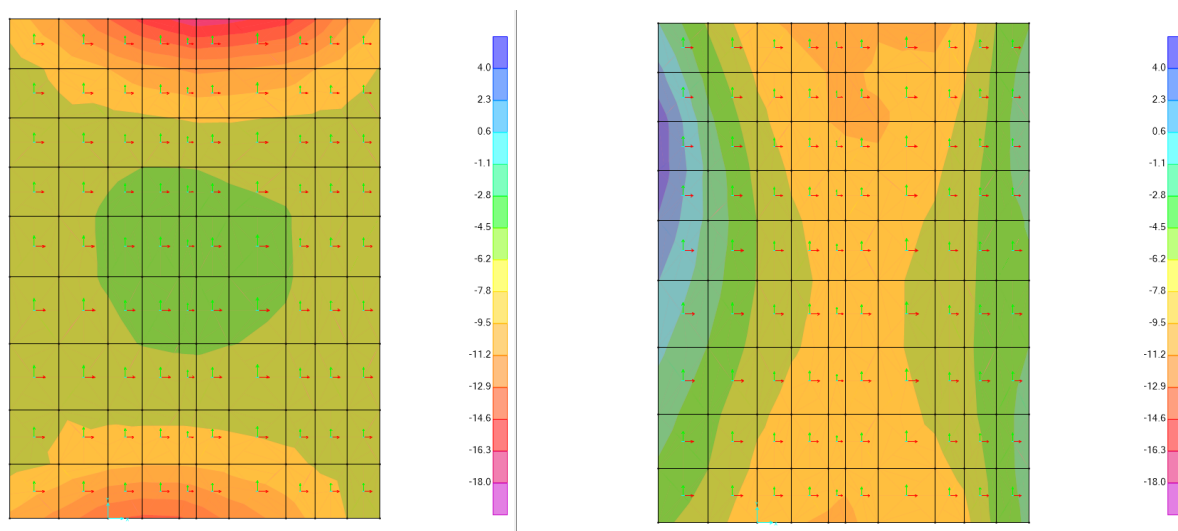


Figura 81: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

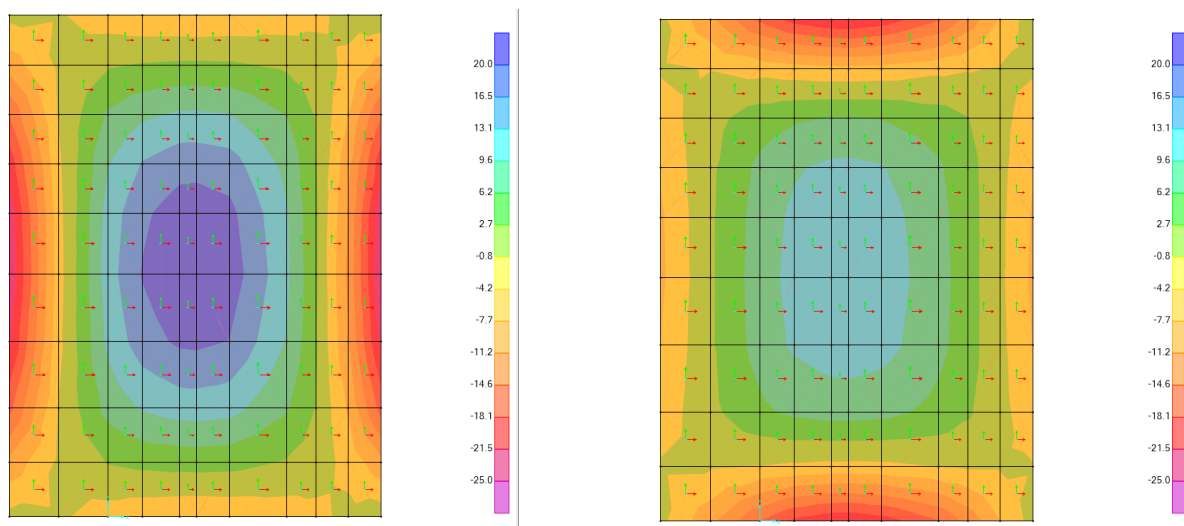


Figura 82: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		Data 22/12/2023
			Pagina 133 di 186

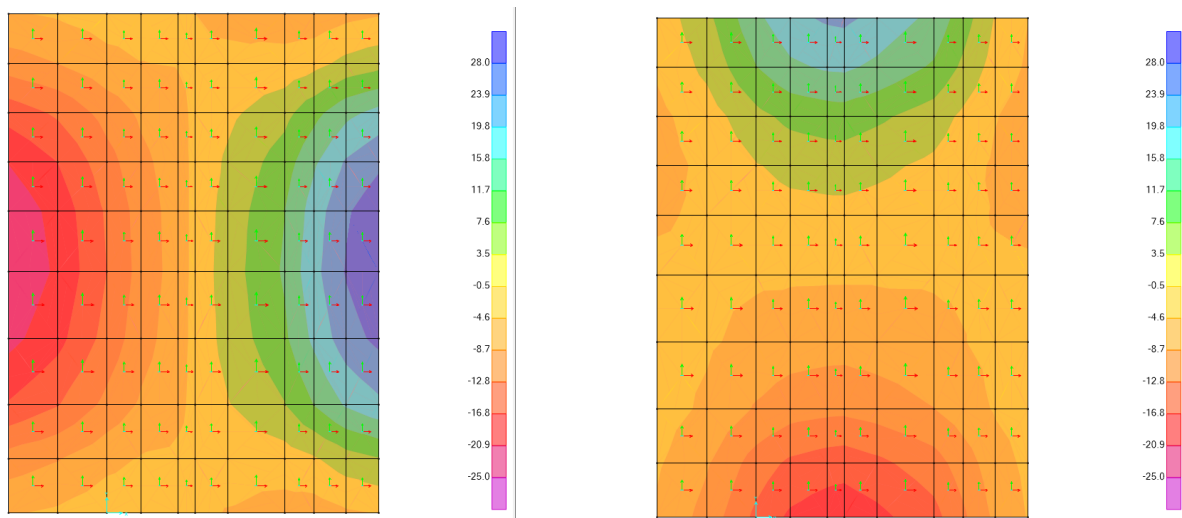


Figura 83: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

Muro frontale

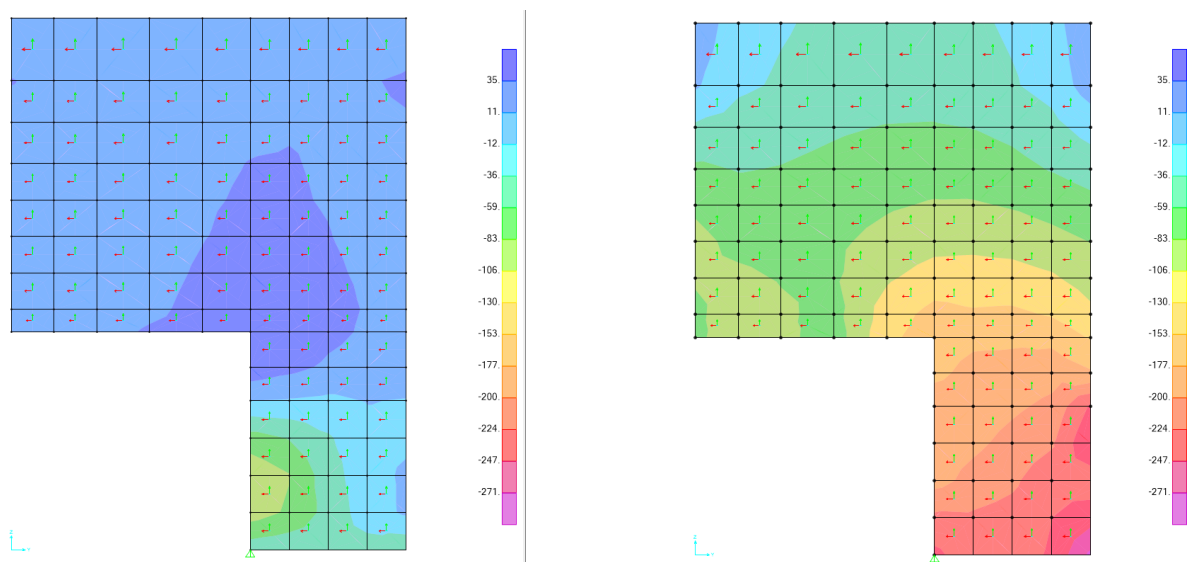


Figura 84: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 134 di 186

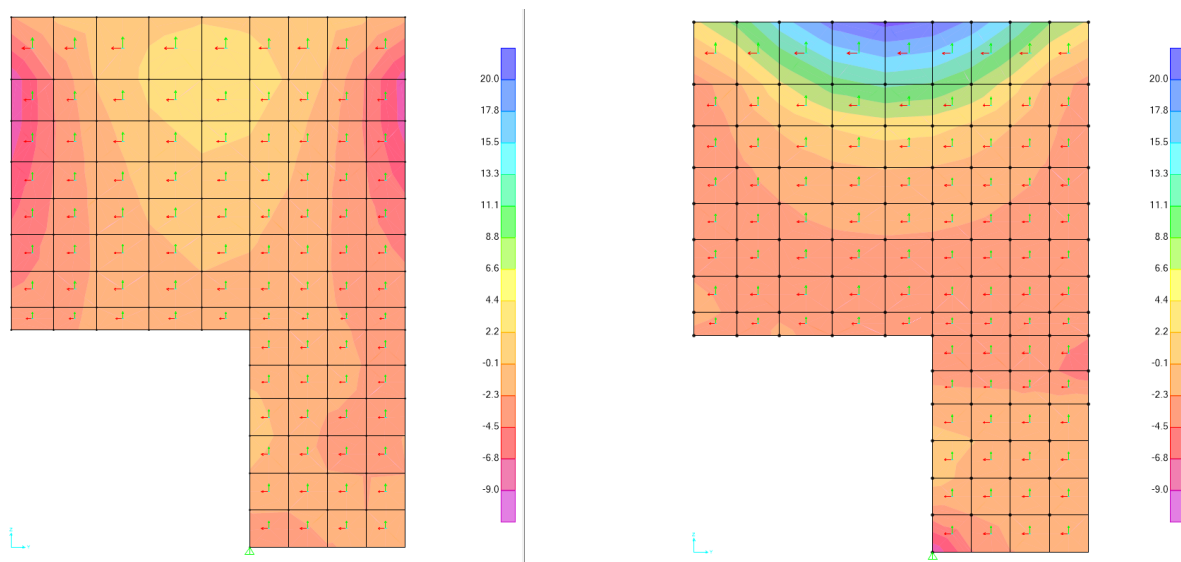


Figura 85: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

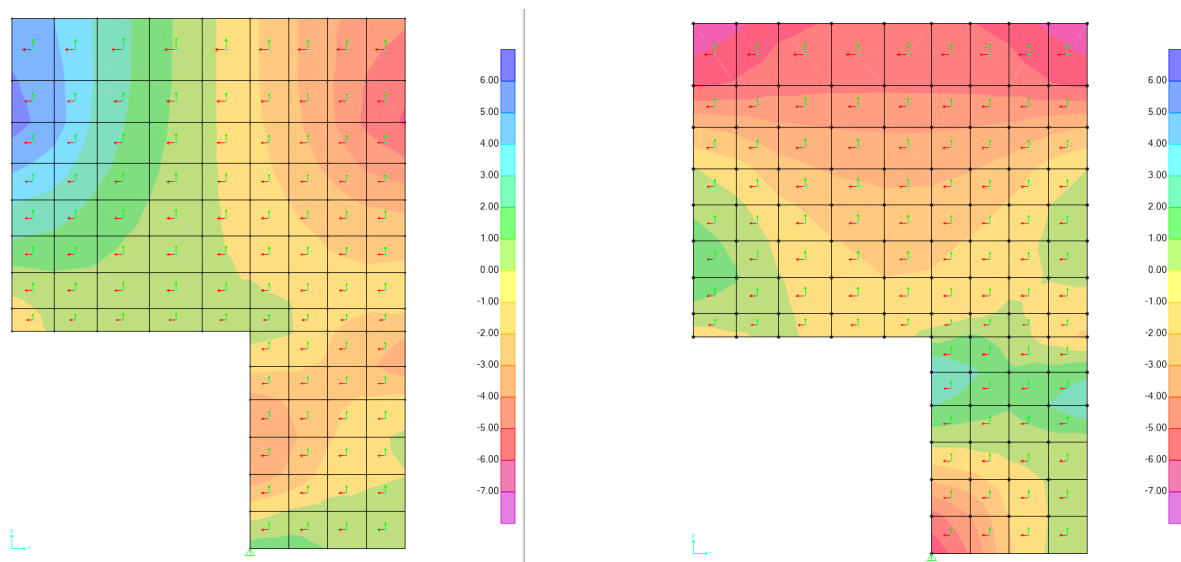


Figura 86: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 135 di 186

Muro posteriore

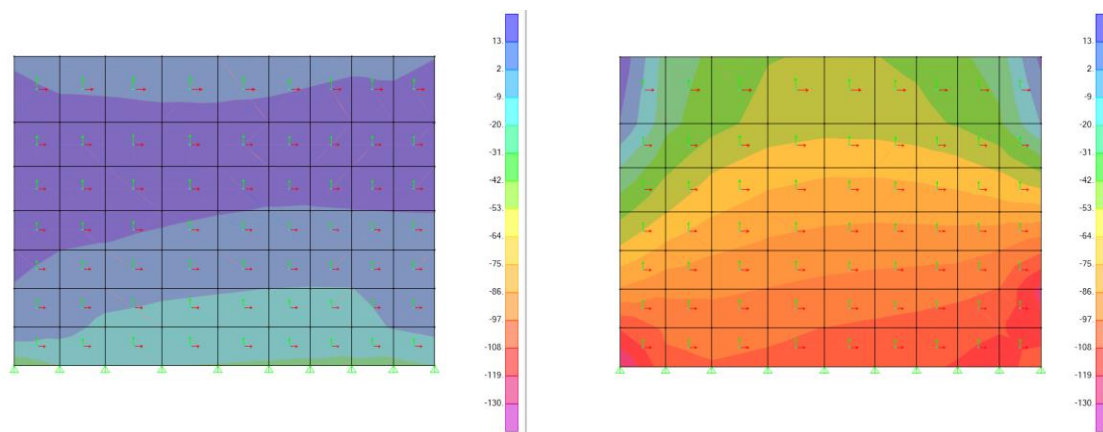


Figura 87: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

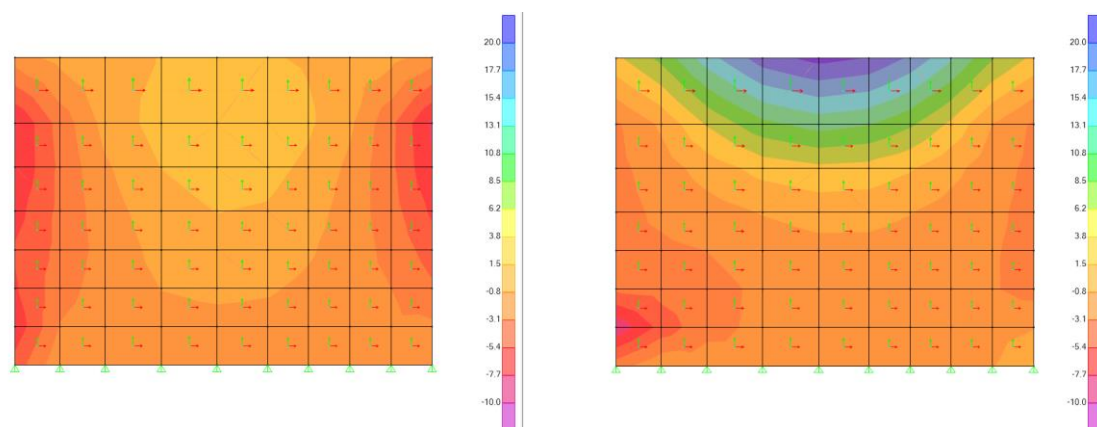


Figura 88: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

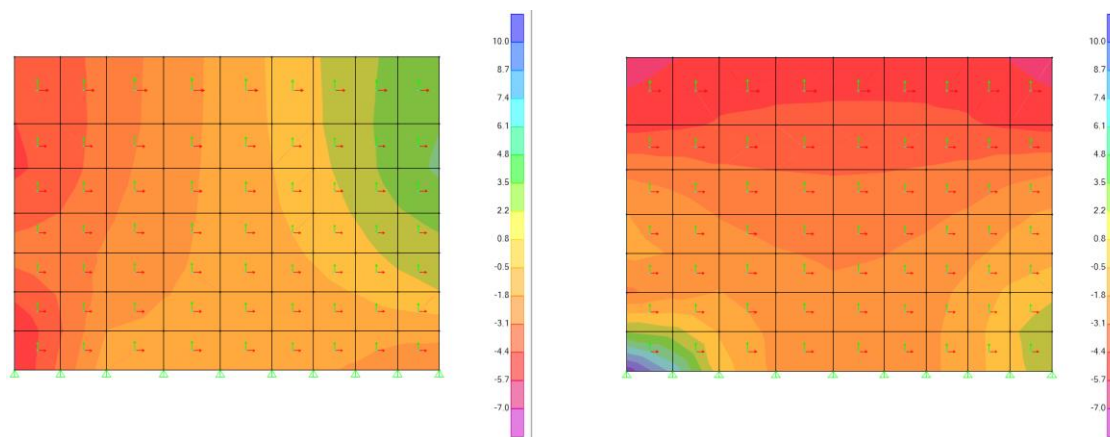


Figura 89: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 136 di 186

Muro destro

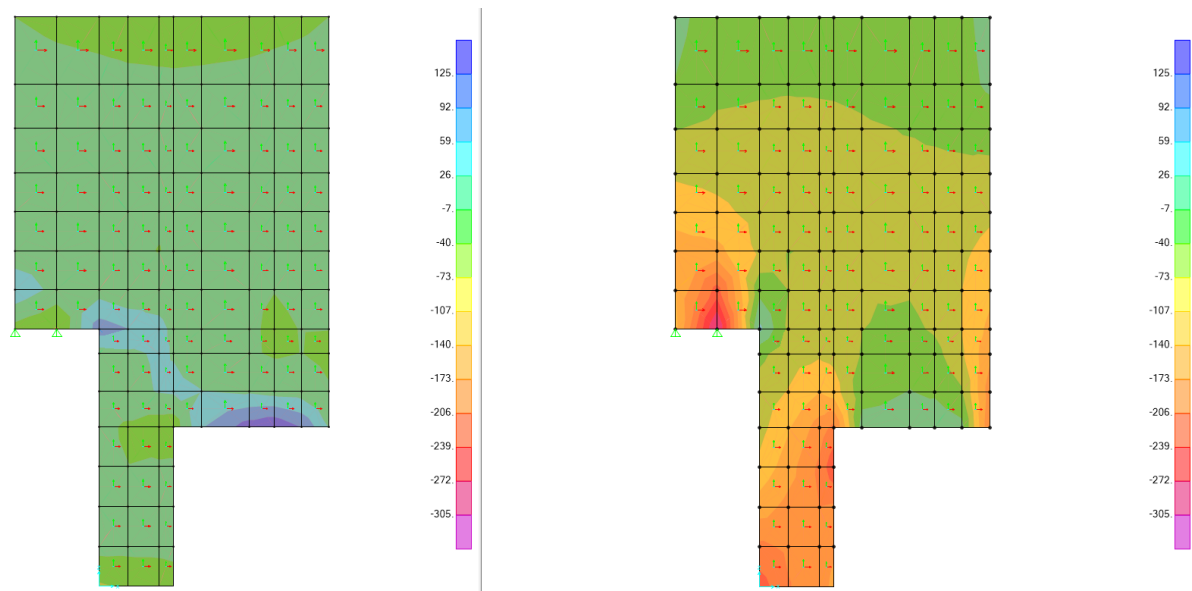


Figura 90: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

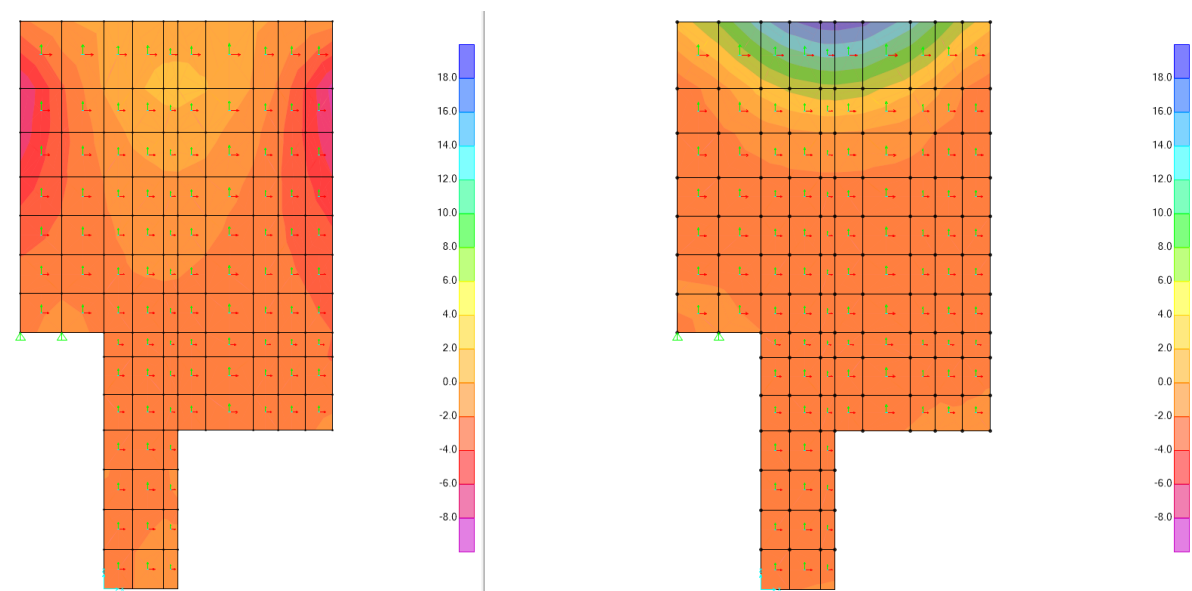


Figura 91: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 137 di 186

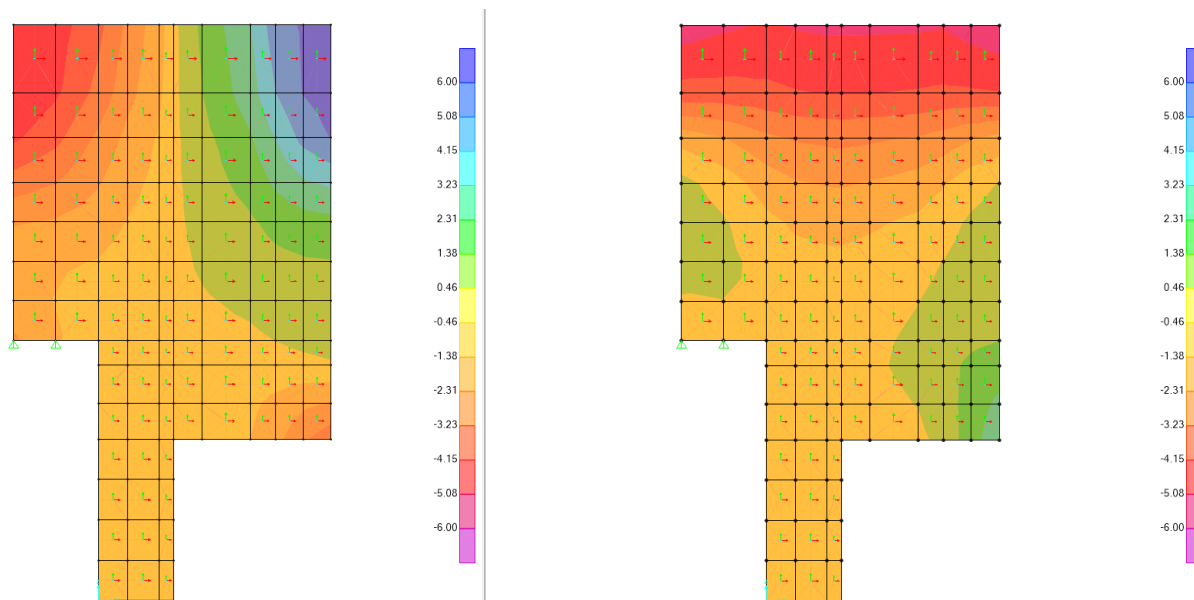


Figura 92: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 138 di 186

Muro sinistro

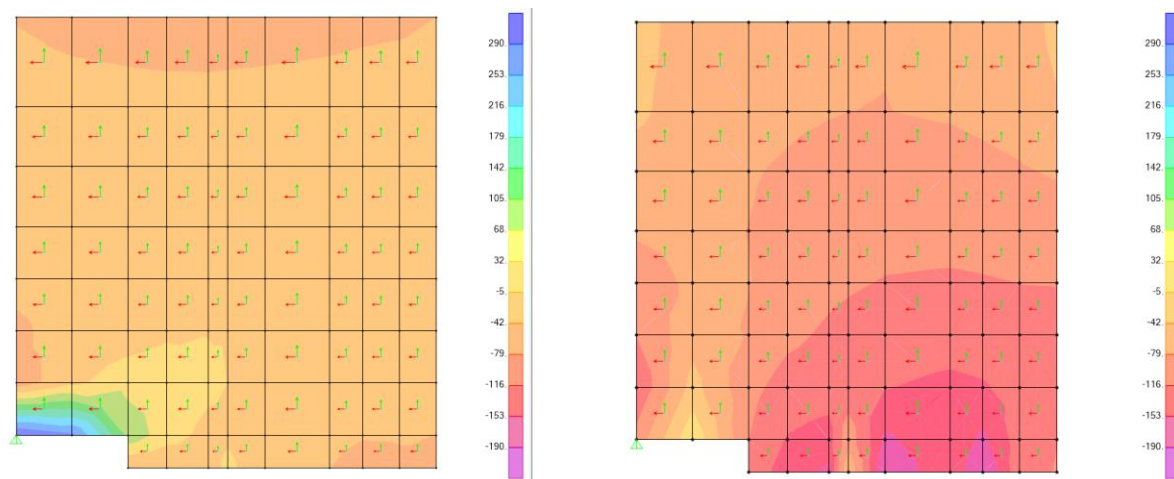


Figura 93: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

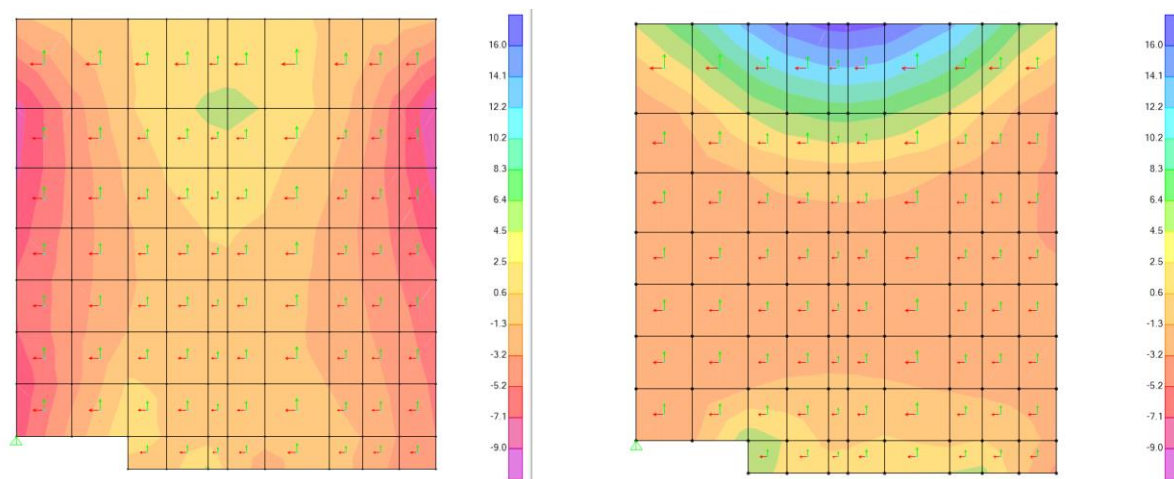


Figura 94: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 139 di 186

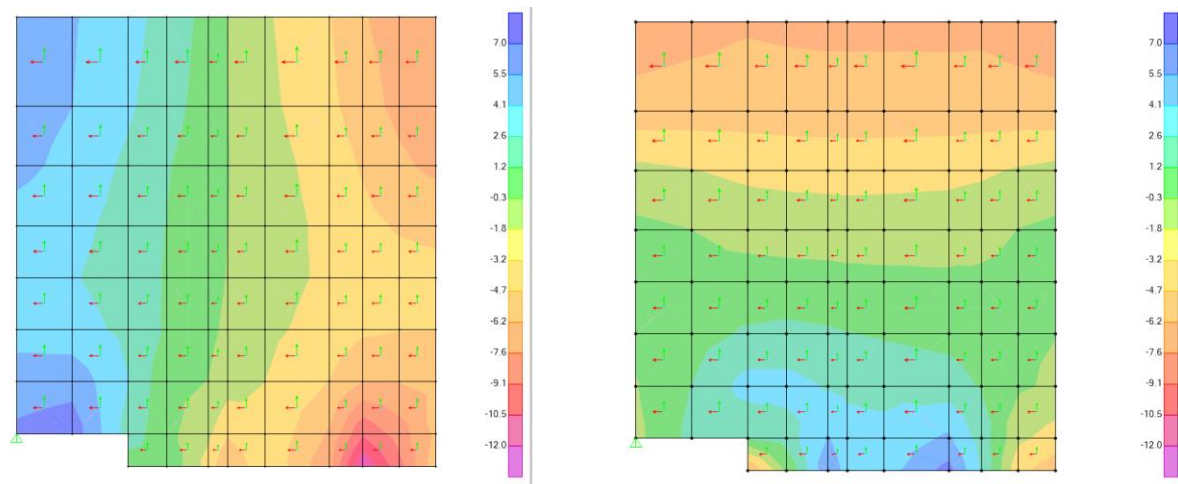


Figura 95: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 140 di 186

Platea di base

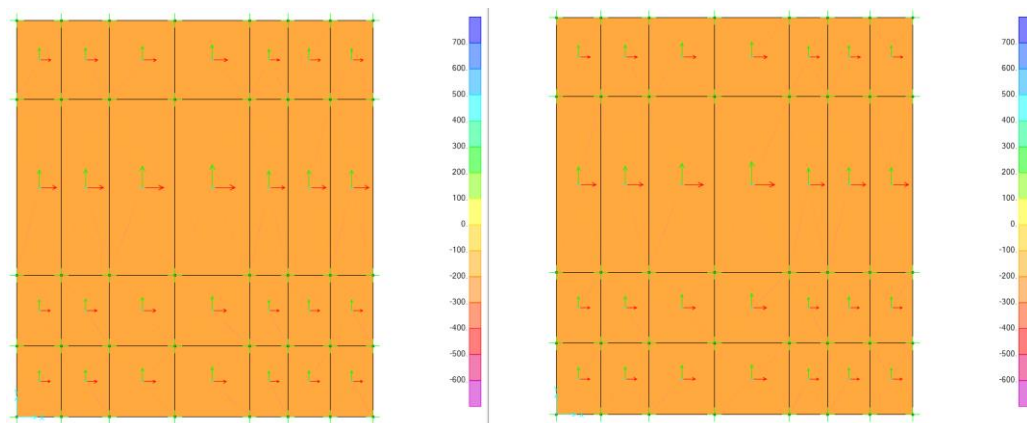


Figura 96: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

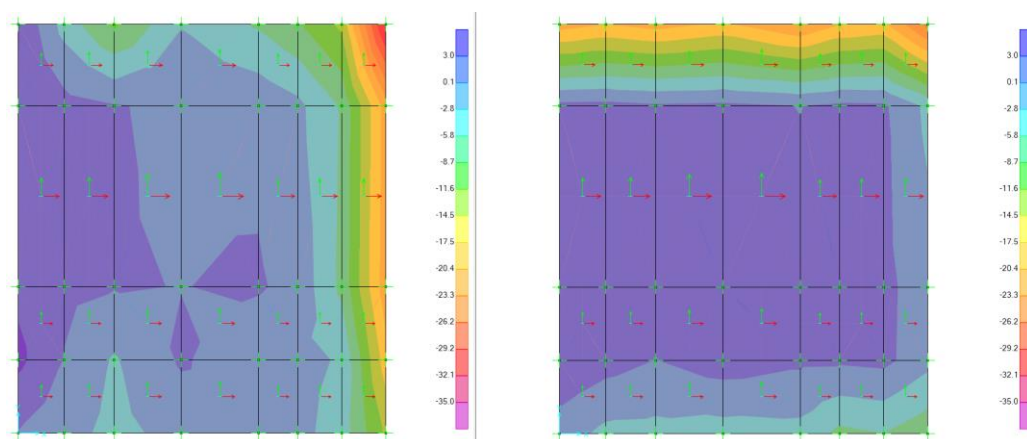


Figura 97: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

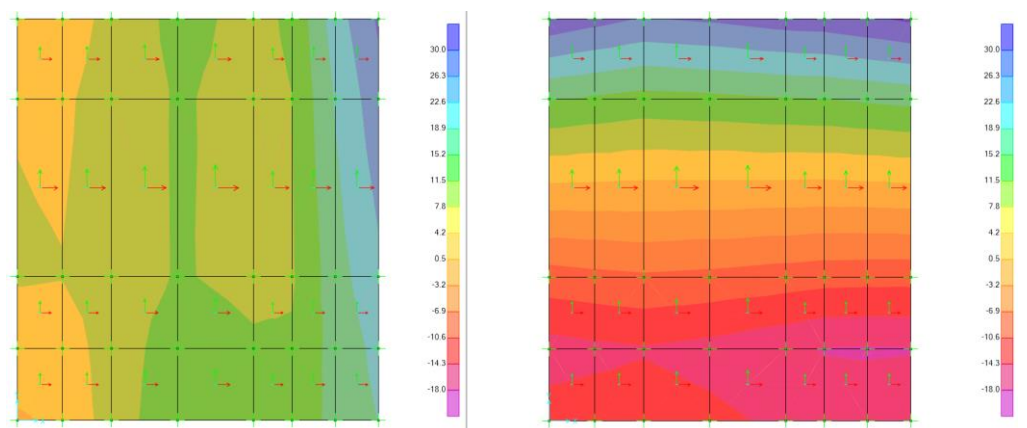


Figura 98: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 141 di 186

Copertura

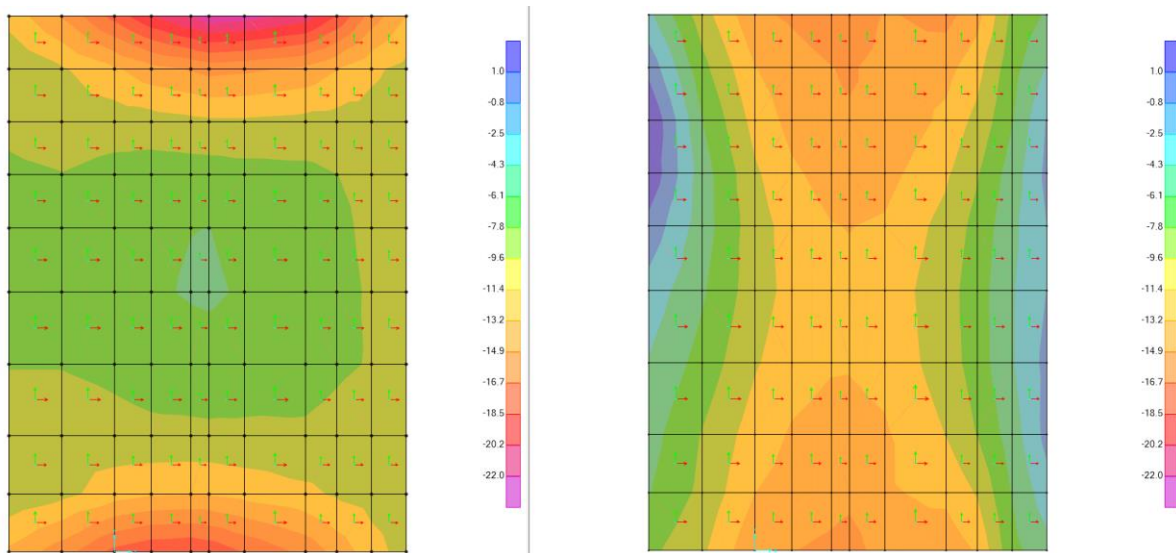


Figura 99: Forze assiali (F11 e F22) SLE Quasi permanente. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

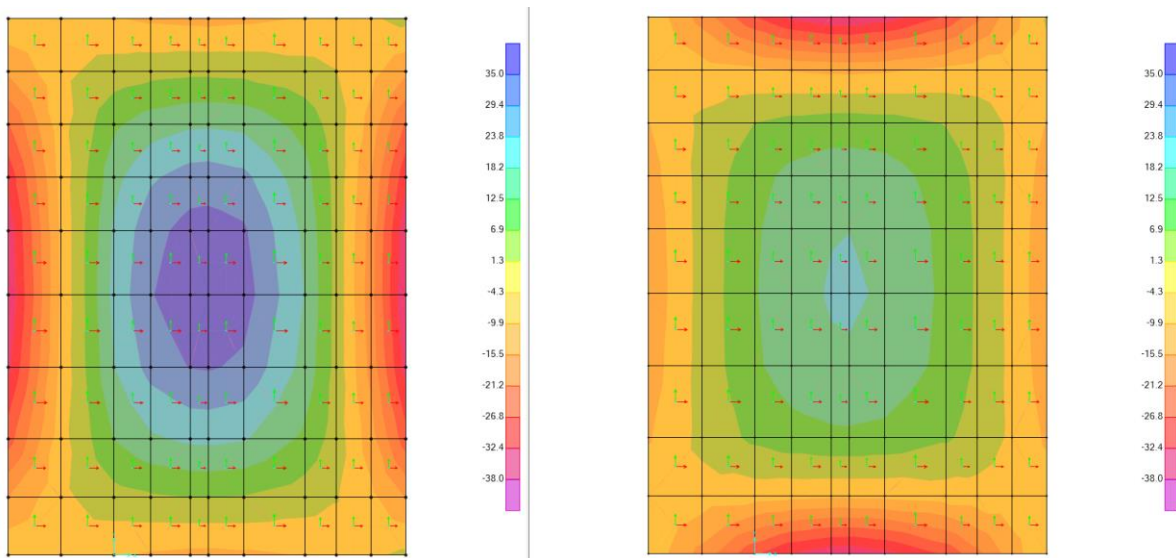


Figura 100: Momento flettente (M11 e M22) SLE Quasi permanente. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 142 di 186

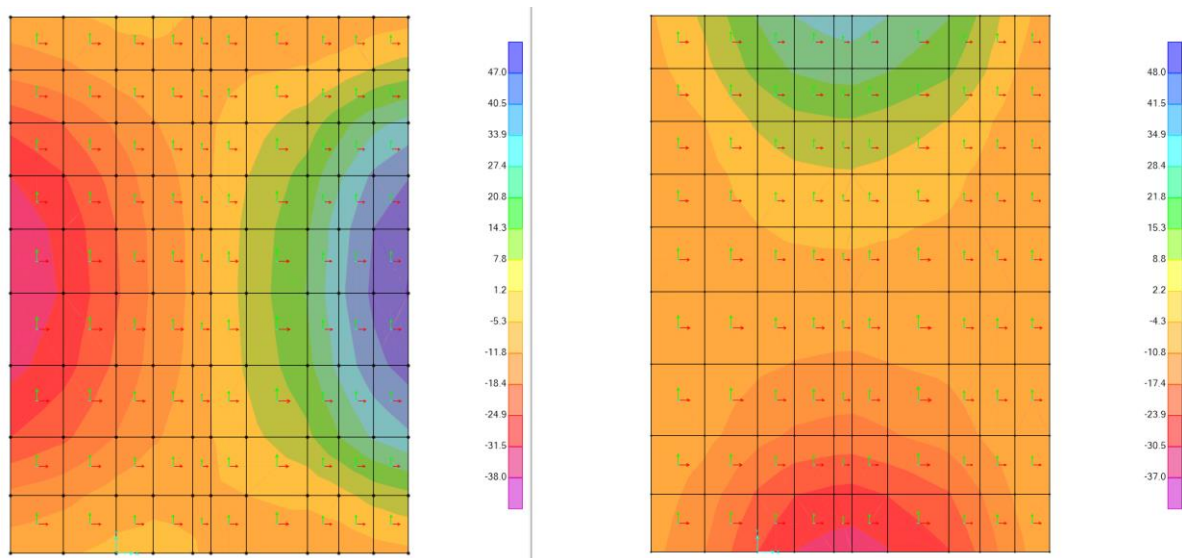


Figura 101: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Quasi permanente. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 143 di 186

Muro frontale

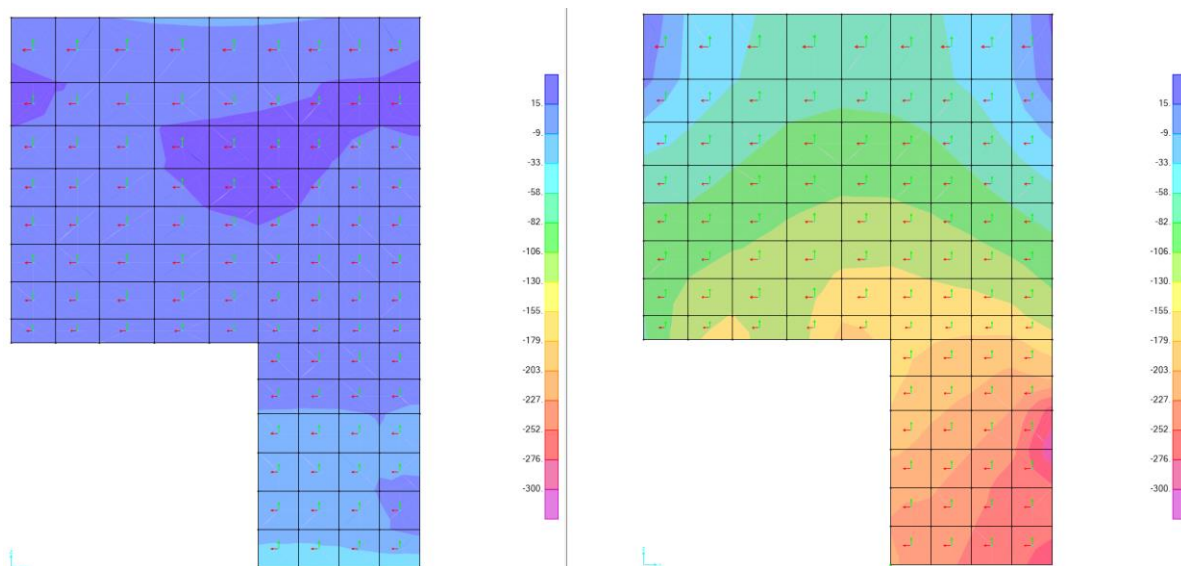


Figura 102: Forze assiali (F11 e F22) SLE Quasi permanente. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

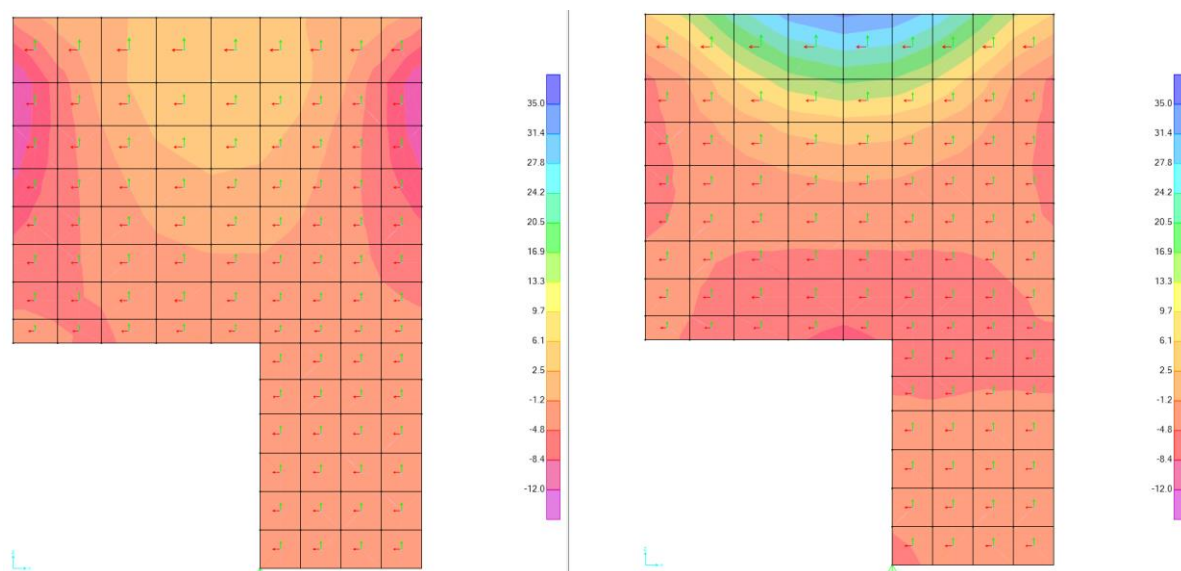


Figura 103: Momento flettente (M11 e M22) SLE Quasi permanente. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 144 di 186

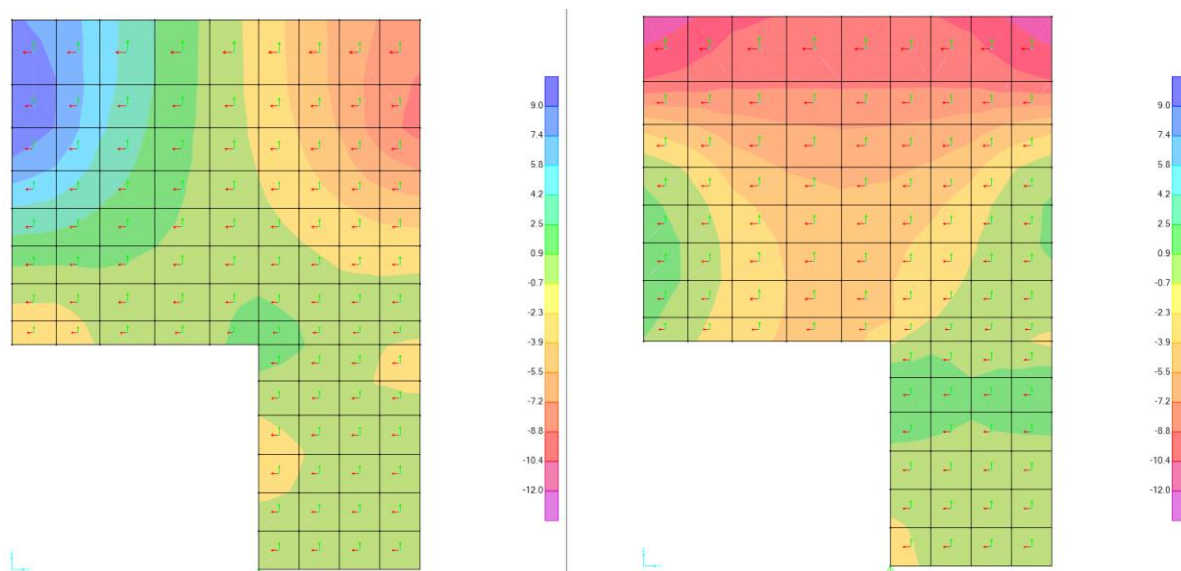


Figura 104: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Quasi permanente. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 145 di 186

Muro posteriore

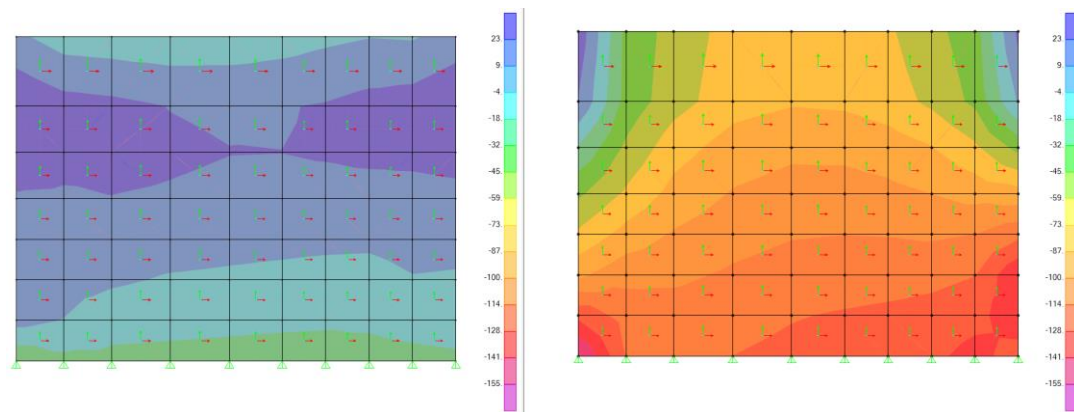


Figura 105: Forze assiali (F11 e F22) SLE Quasi permanente. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

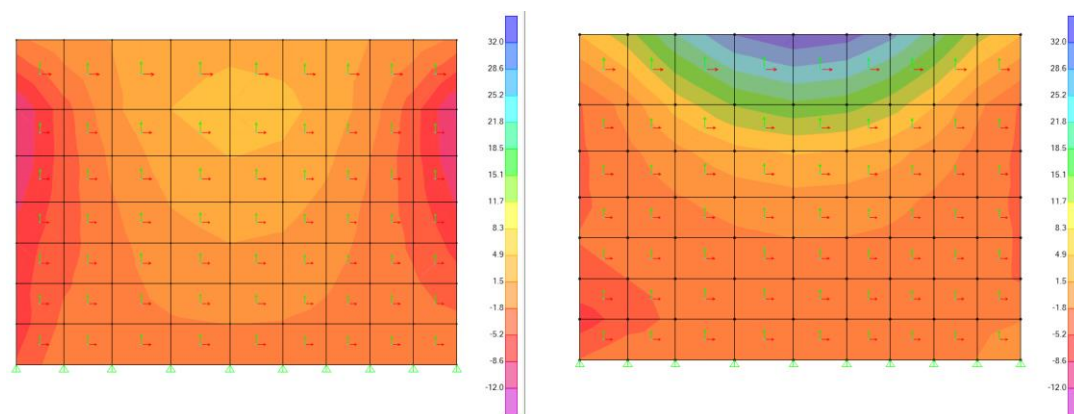


Figura 106: Momento flettente (M11 e M22) SLE Quasi permanente. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

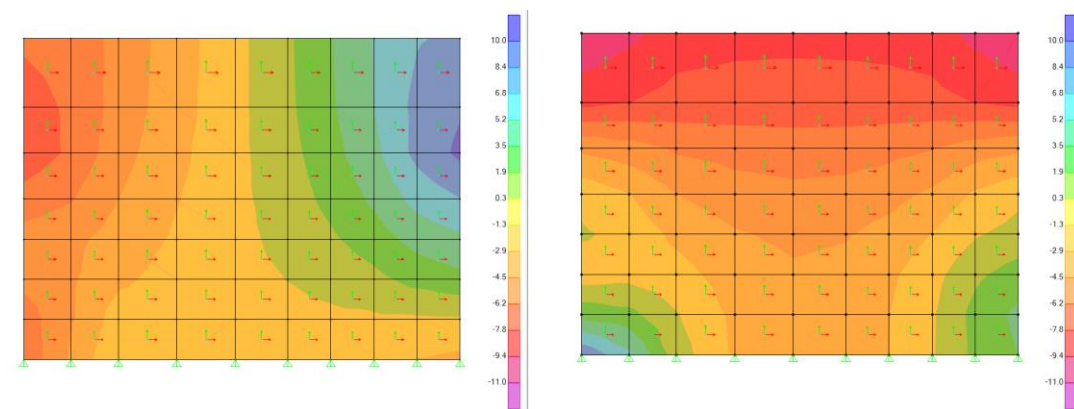


Figura 107: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Quasi permanente. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 146 di 186

Muro destro

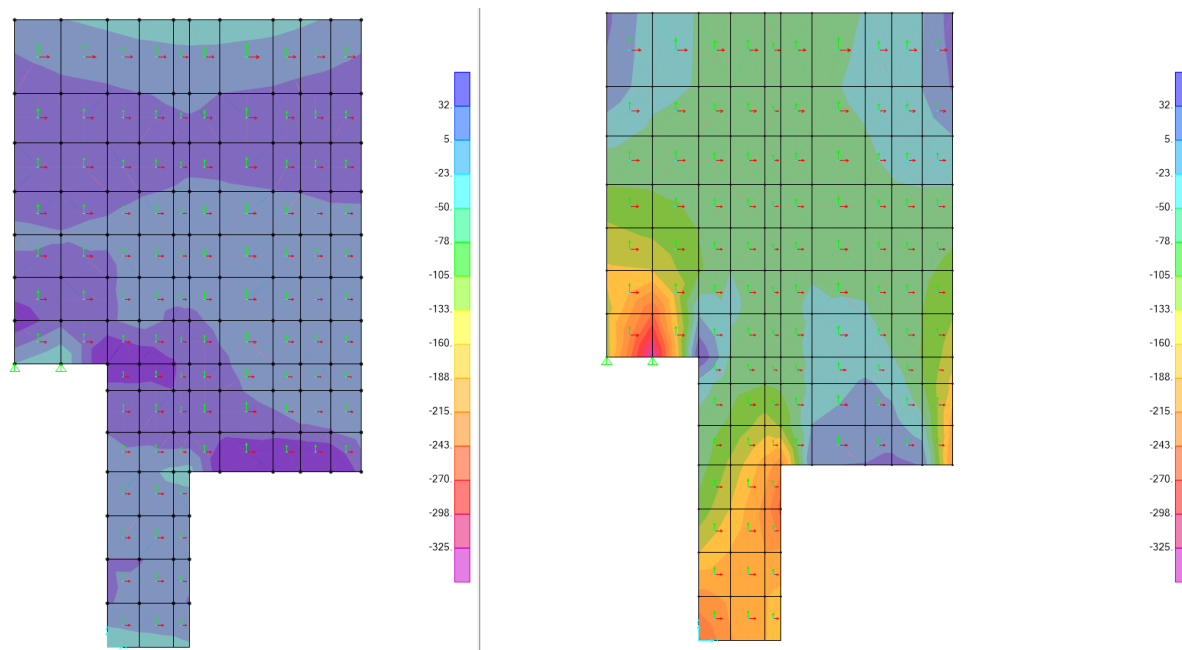


Figura 108: Forze assiali (F11 e F22) SLE Quasi permanente. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

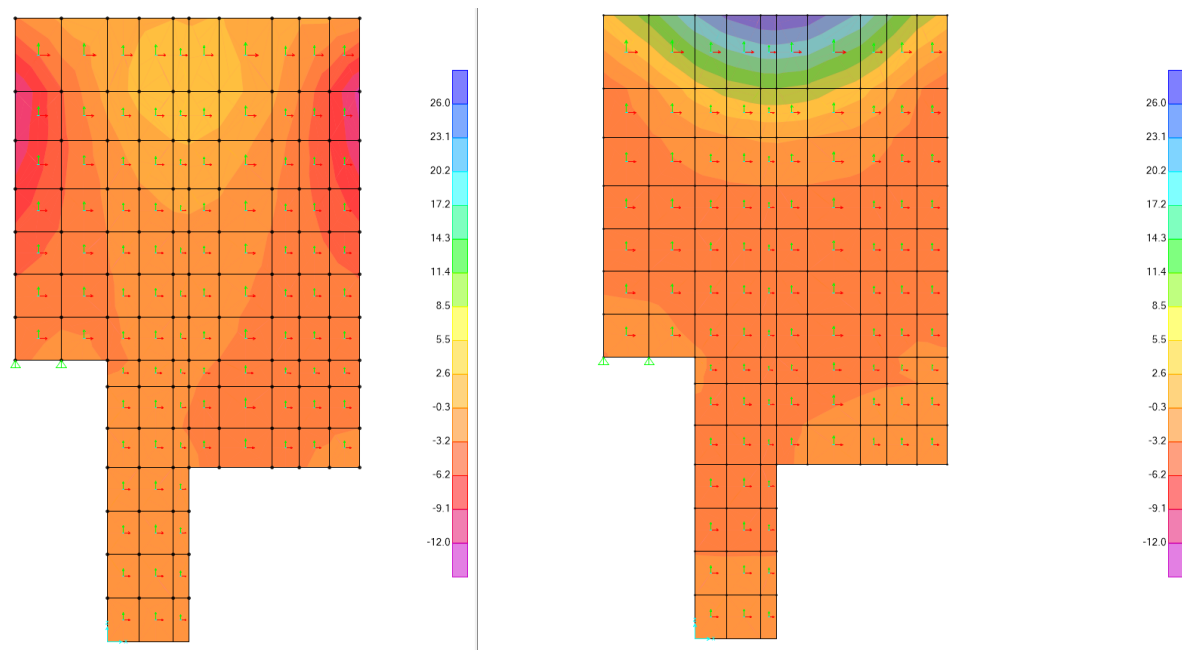


Figura 109: Momento flettente (M11 e M22) SLE Quasi permanente. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 147 di 186

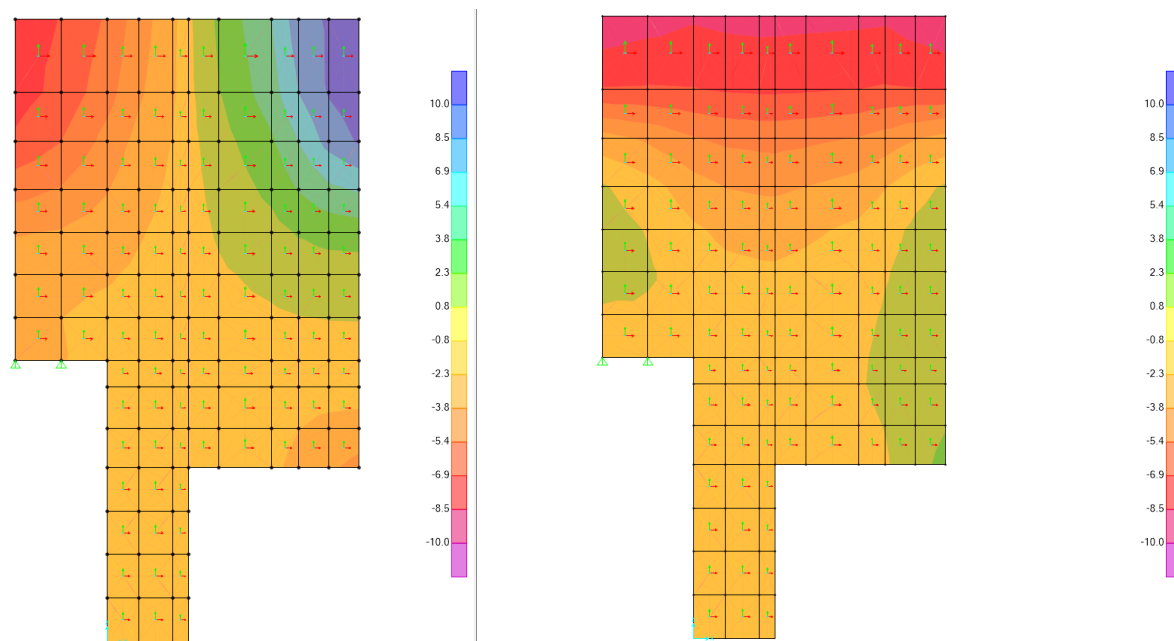


Figura 110: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Quasi permanente. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 148 di 186

Muro sinistro

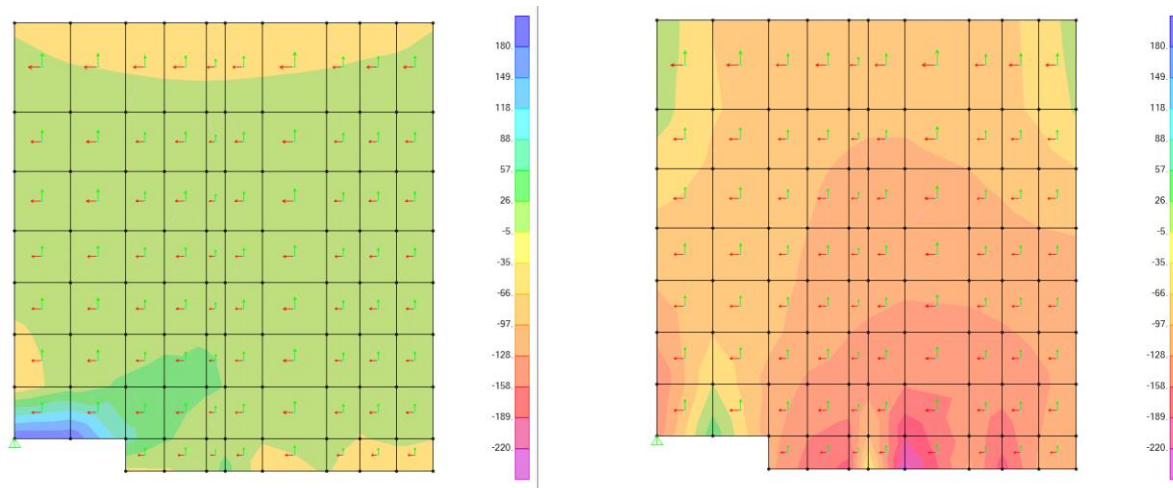


Figura 111: Forze assiali (F11 e F22) SLE Quasi permanente. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

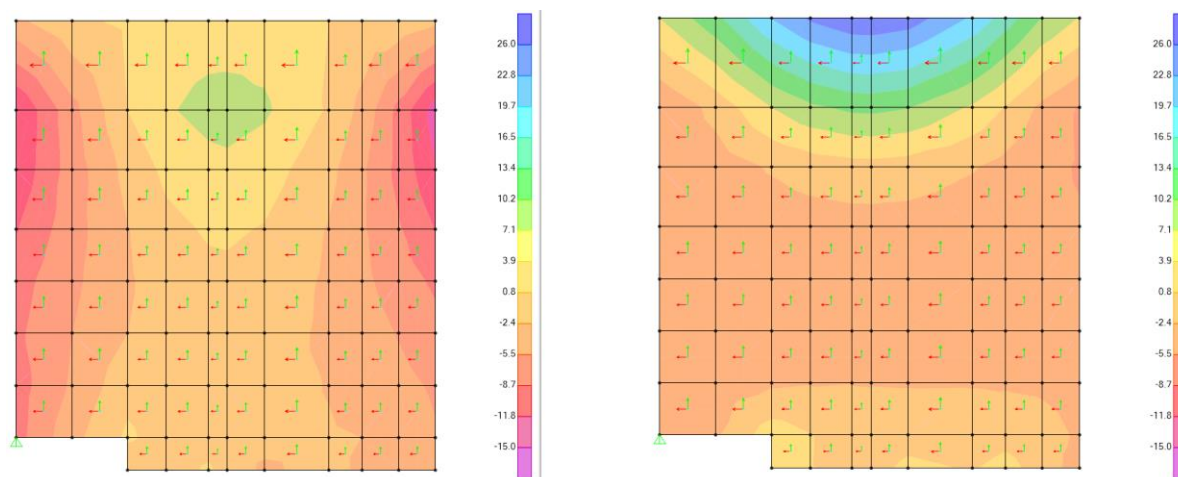


Figura 112: Momento flettente (M11 e M22) SLE Quasi permanente. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 149 di 186

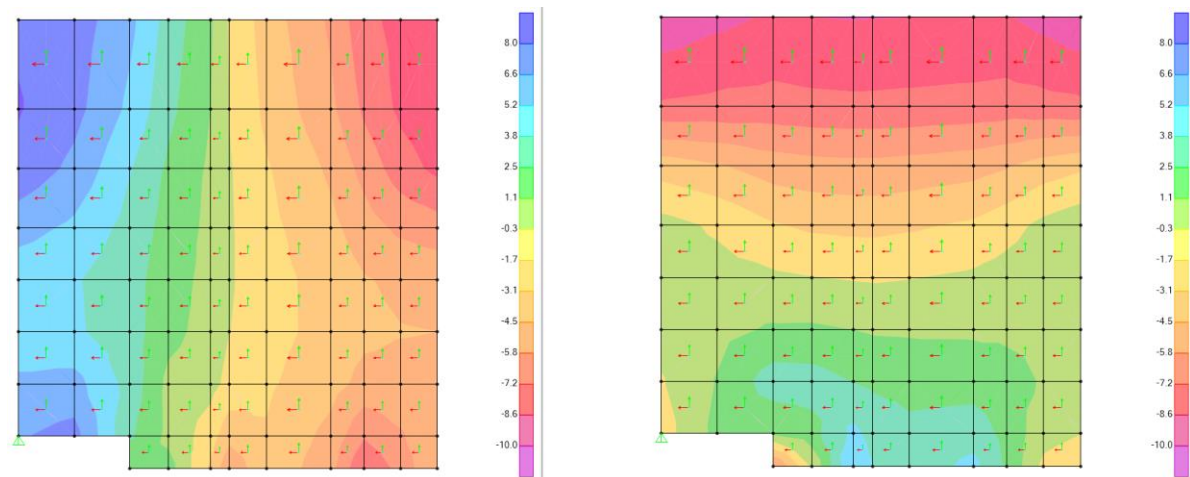


Figura 113: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Quasi permanente. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 150 di 186

Platea di base

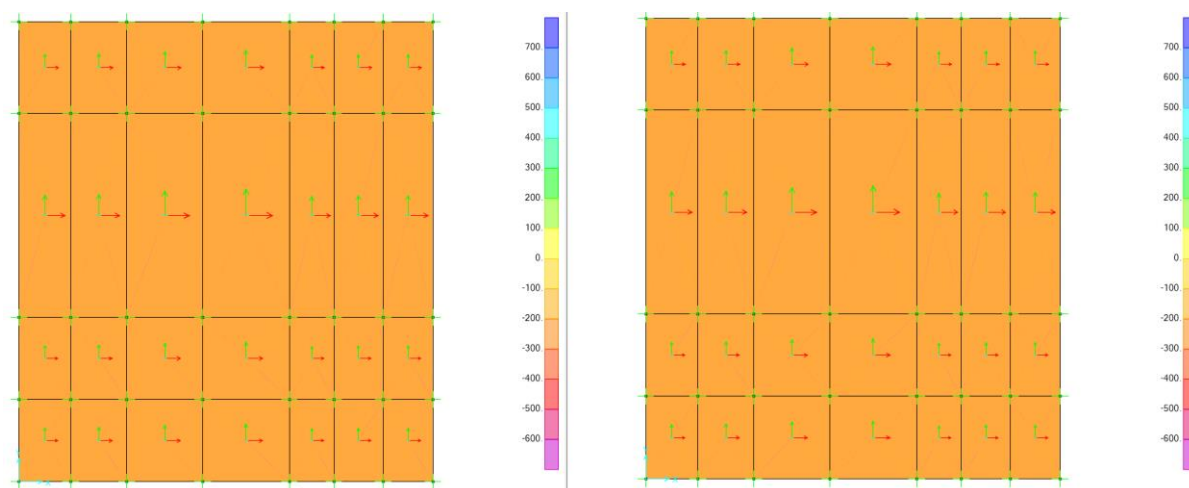


Figura 114: Forze assiali (F11 e F22) SLE Quasi permanente. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

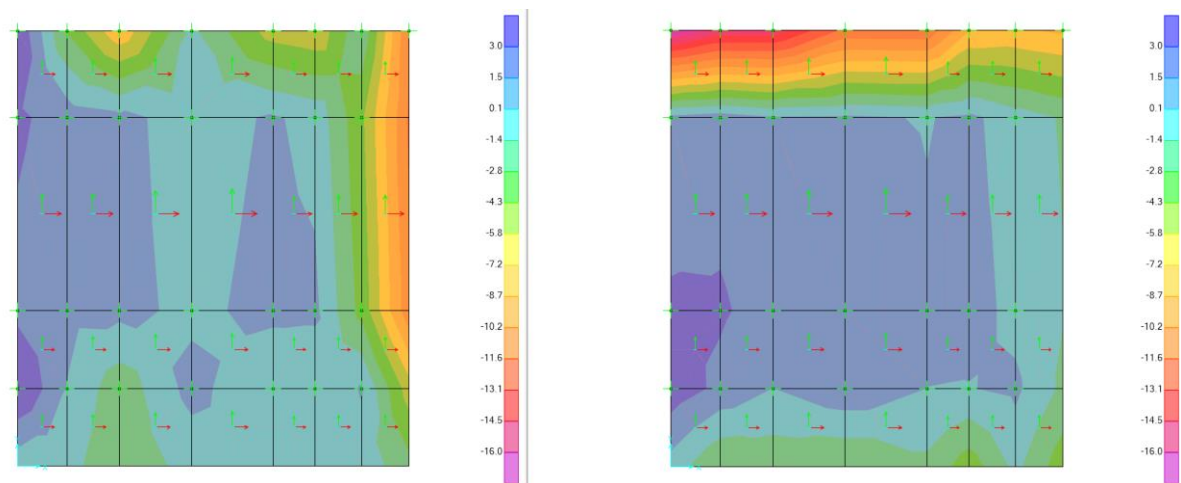


Figura 115: Momento flettente (M11 e M22) SLE Quasi permanente. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 151 di 186

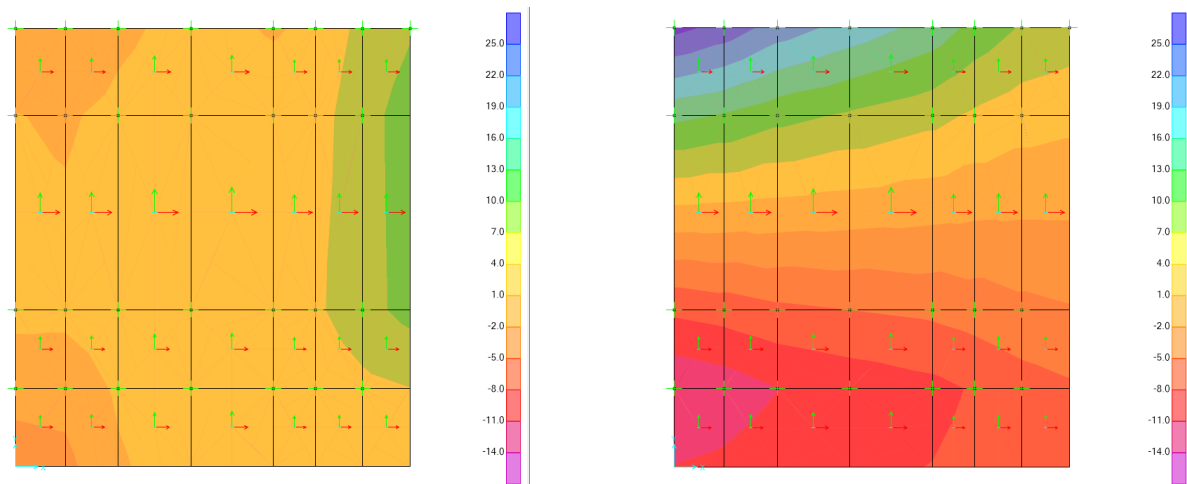


Figura 116: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Quasi permanente. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 152 di 186	

ALLEGATO C

Risultati VcaSlu per il calcolo degli sforzi allo SLE – Camera di manovra delle paratoie

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 153 di 186

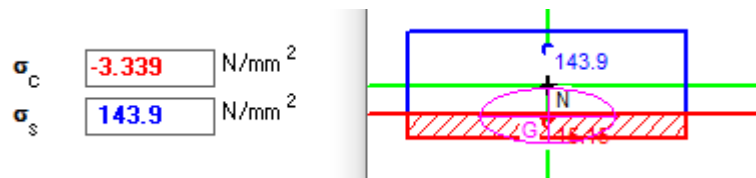


Figura 117: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per la sezione della copertura. Combinazione SLE rara [MPa].

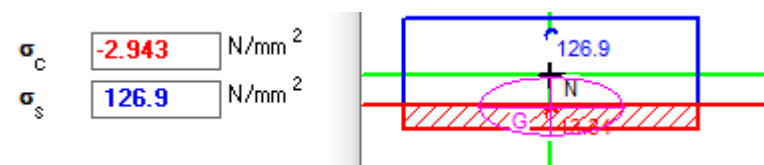


Figura 118: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per la sezione della copertura. Combinazione SLE Quasi permanente [MPa].

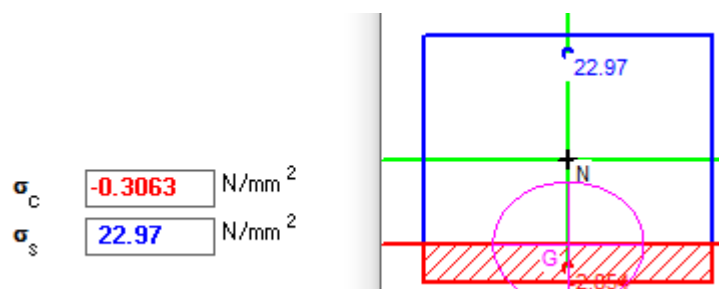


Figura 119: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per la platea di base. Combinazione SLE rara [MPa].

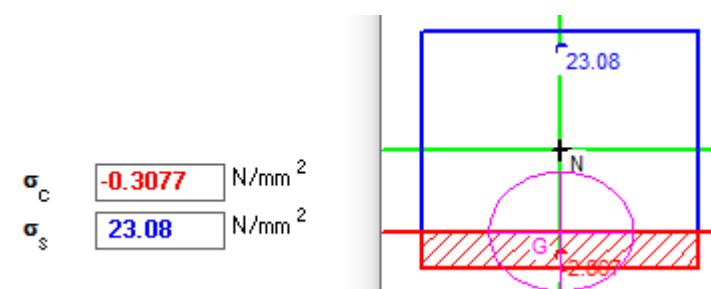


Figura 120: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per la platea di base. Combinazione SLE Quasi permanente [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 154 di 186

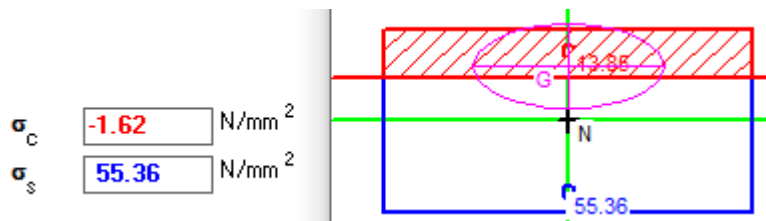


Figura 121: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro posteriore. Combinazione SLE rara [MPa].

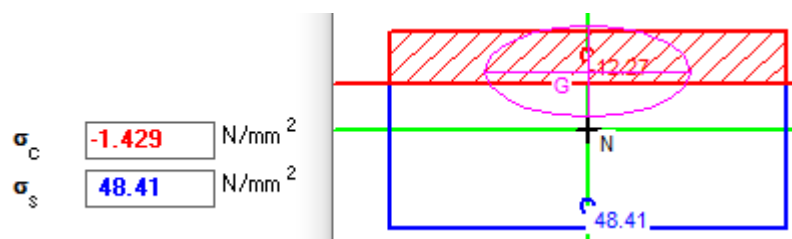


Figura 122: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro posteriore. Combinazione SLE Quasi permanente [MPa].

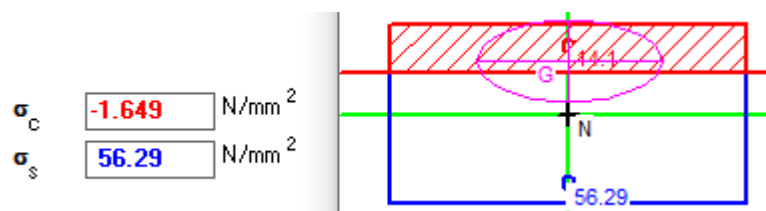


Figura 123 Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro frontale. Combinazione SLE rara [MPa].

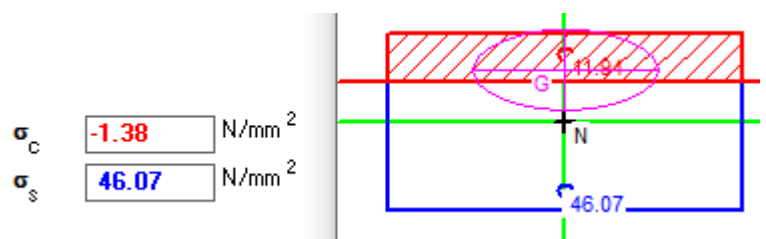


Figura 124: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro frontale. Combinazione SLE Quasi permanente [MPa].

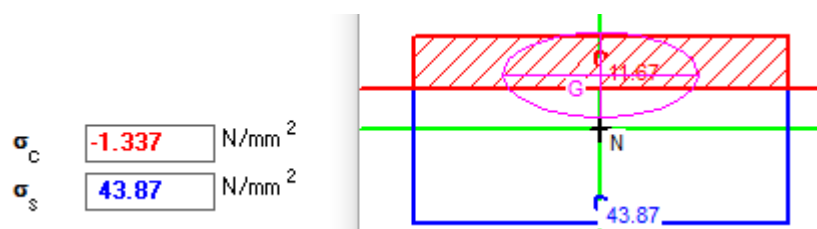


Figura 125: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro destro. Combinazione SLE rara [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 155 di 186

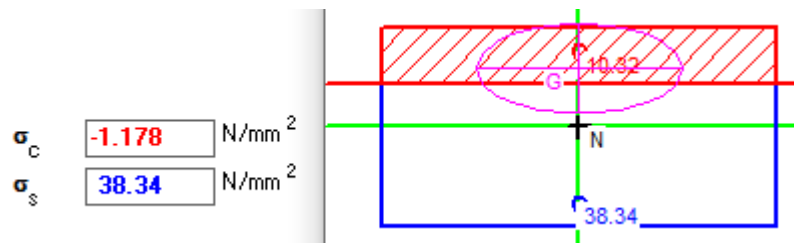


Figura 126: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro destro. Combinazione SLE Quasi permanente [MPa].

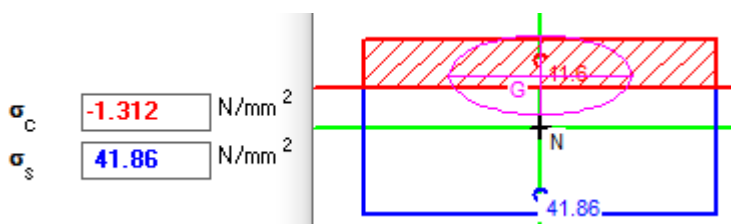


Figura 127: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro sinistro. Combinazione SLE rara [MPa].

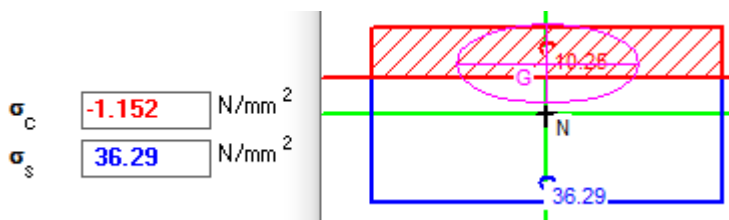


Figura 128: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro sinistro. Combinazione SLE Quasi permanente [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 156 di 186	

ALLEGATO D

Sollecitazioni allo SLU ottenute dal modello di calcolo – Salto di sci

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 157 di 186

Gli sforzi presentati sono definiti in base all'asse locale degli elementi (rosso 11, verde 22, ciano 33).

Platea di fondazione

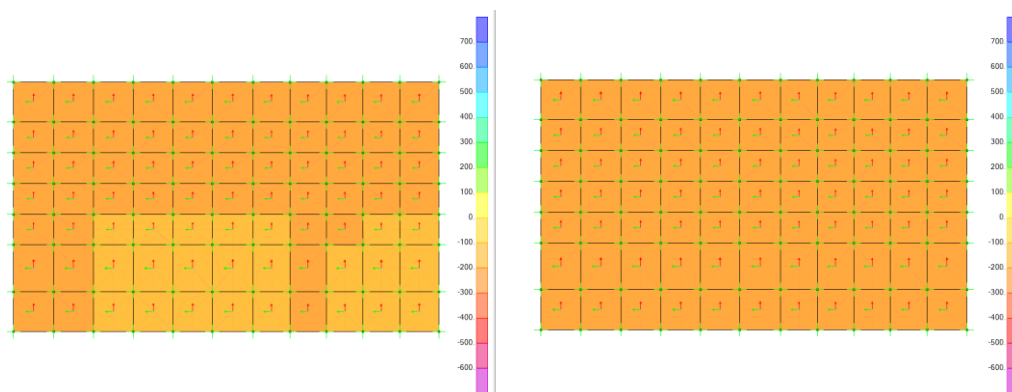


Figura 129: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

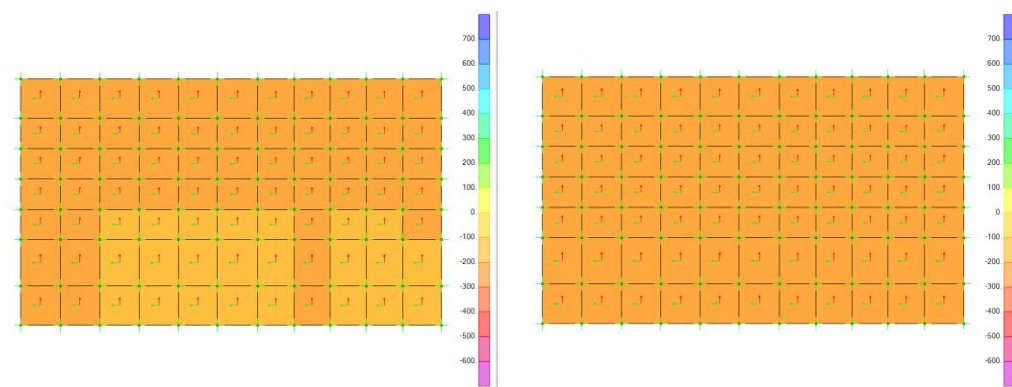


Figura 130: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

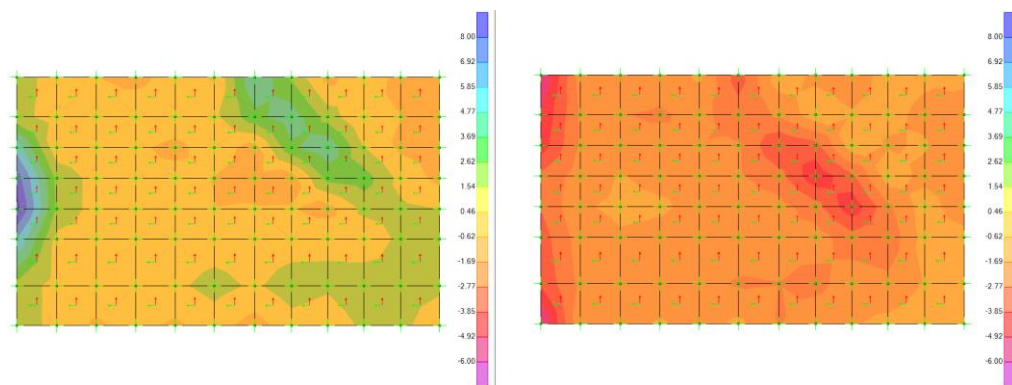


Figura 131: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 158 di 186

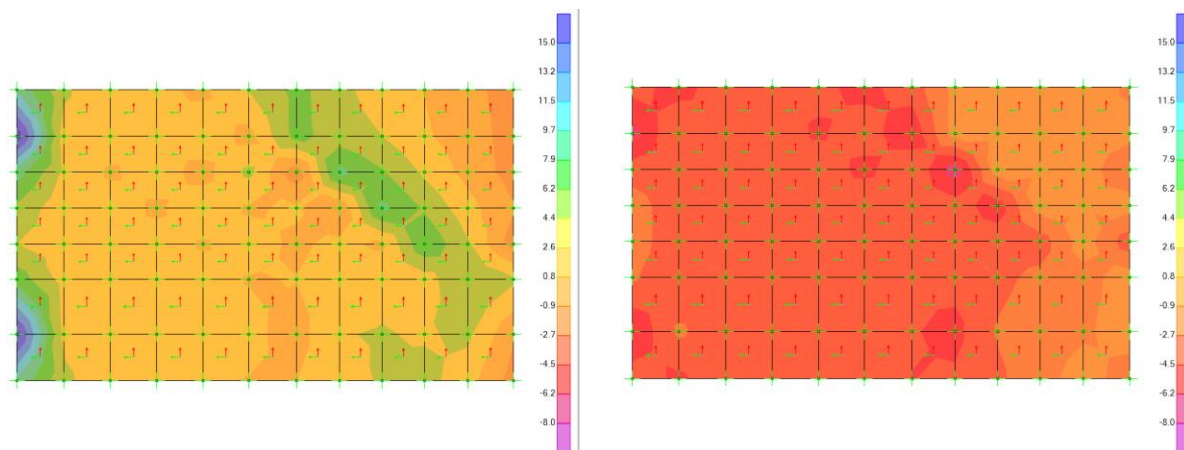


Figura 132: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

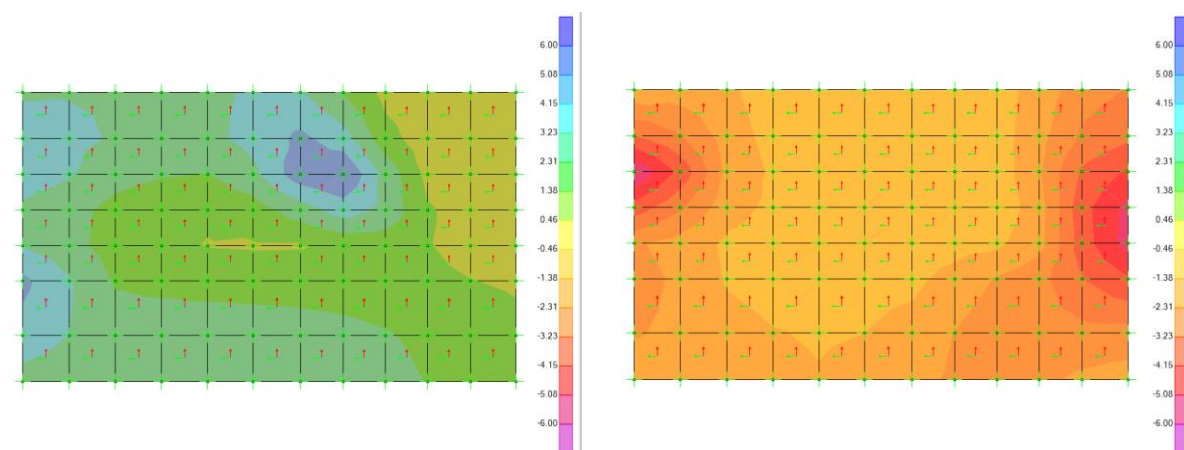


Figura 133: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

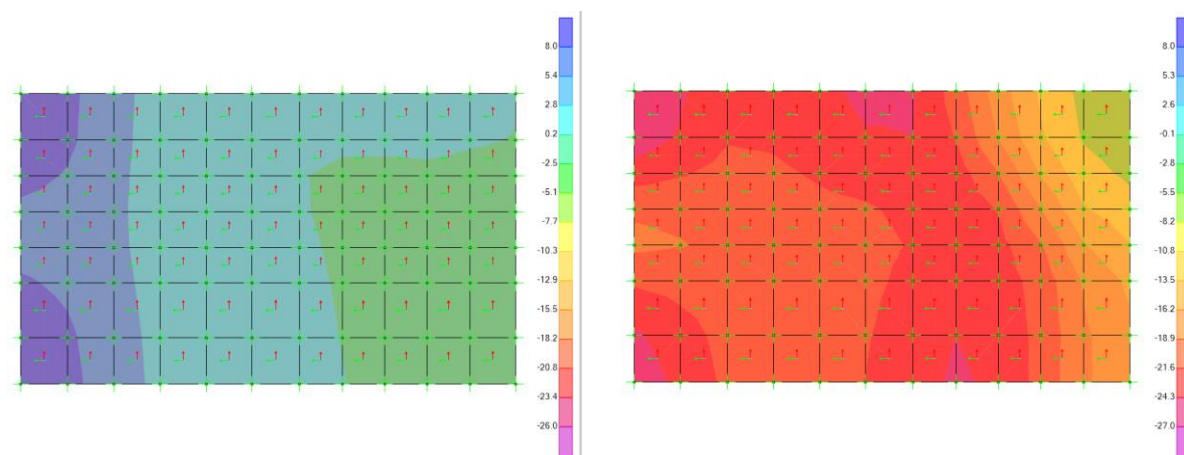


Figura 134: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 159 di 186

Muro sinistro

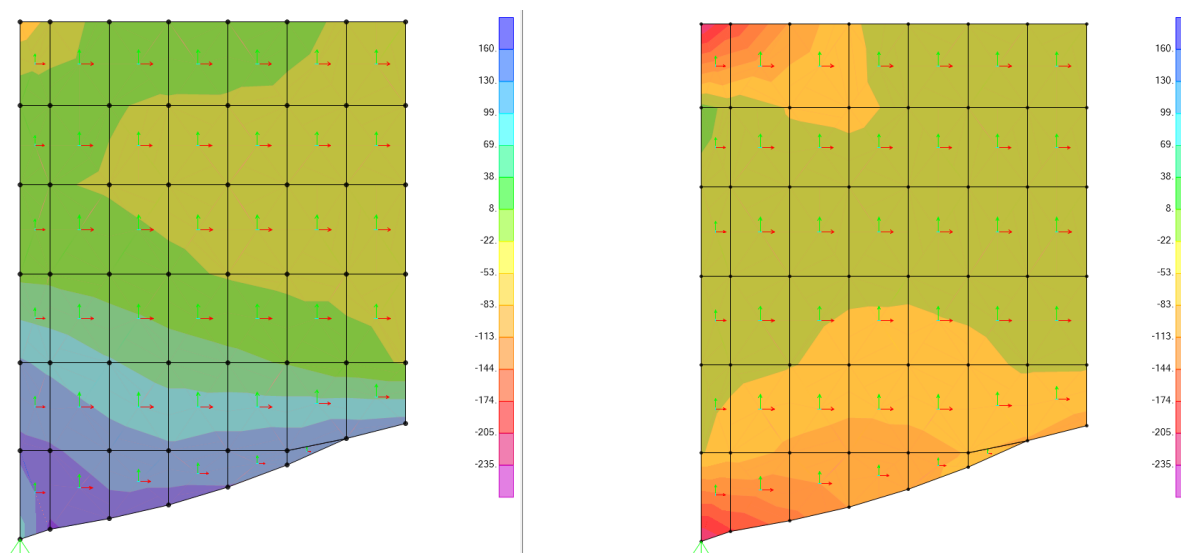


Figura 135: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

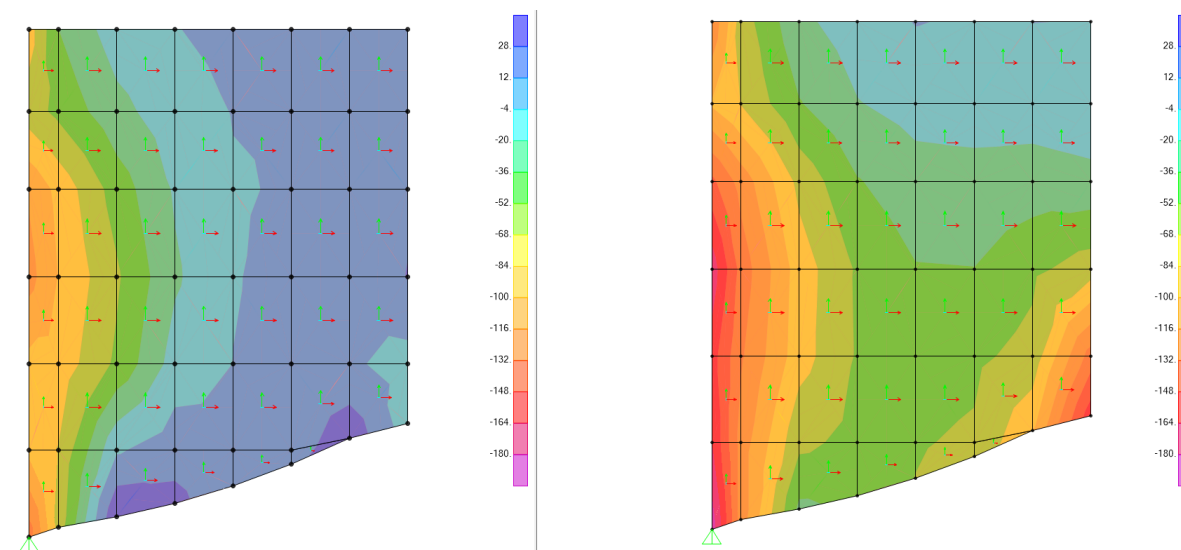


Figura 136: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 160 di 186

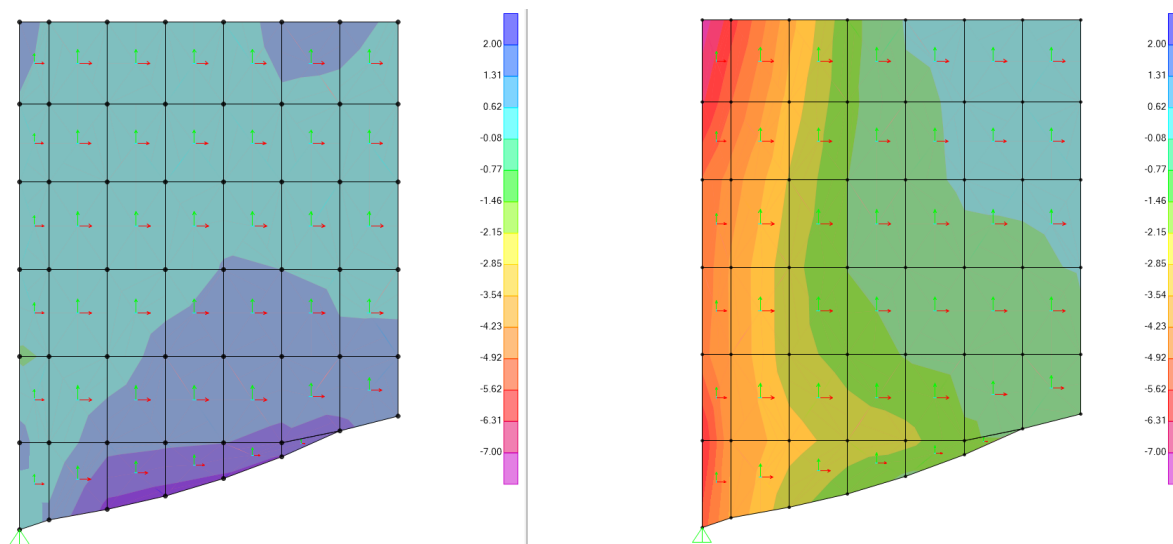


Figura 137: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

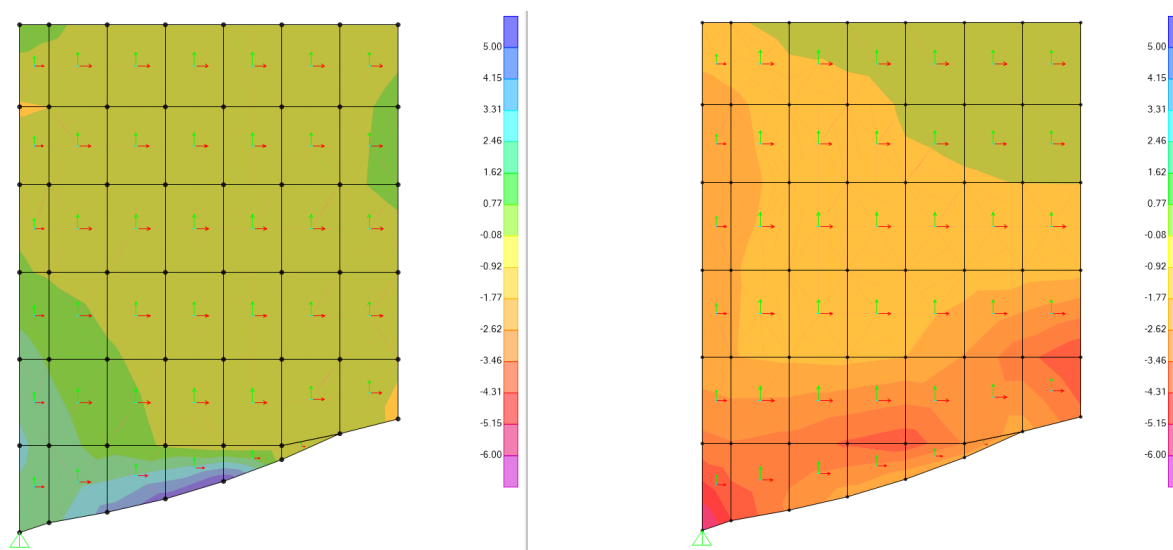


Figura 138: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
			Data 22/12/2023
			Pagina 161 di 186

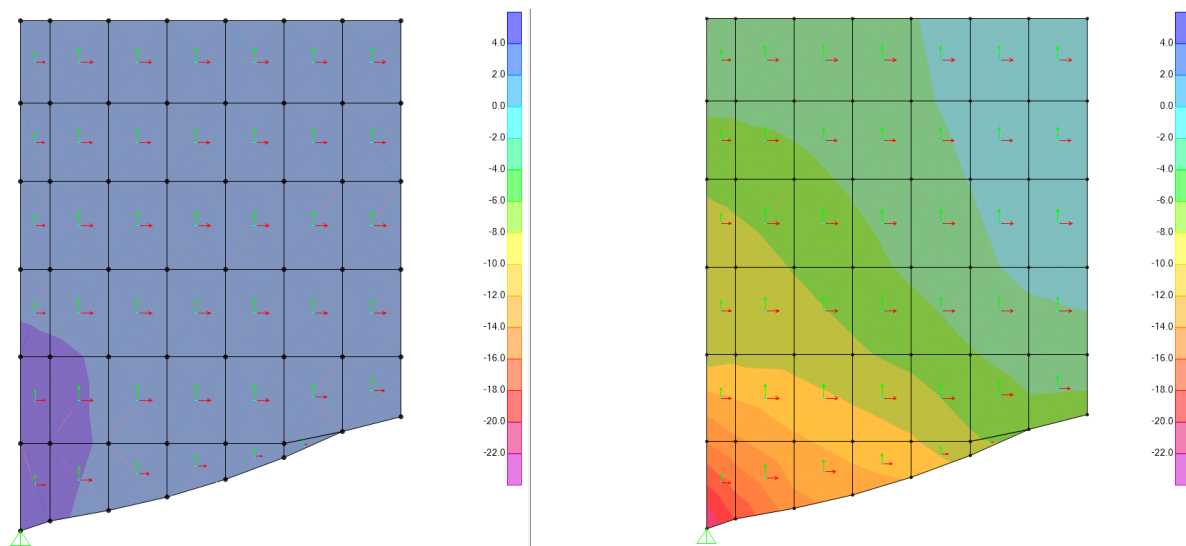


Figura 139: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

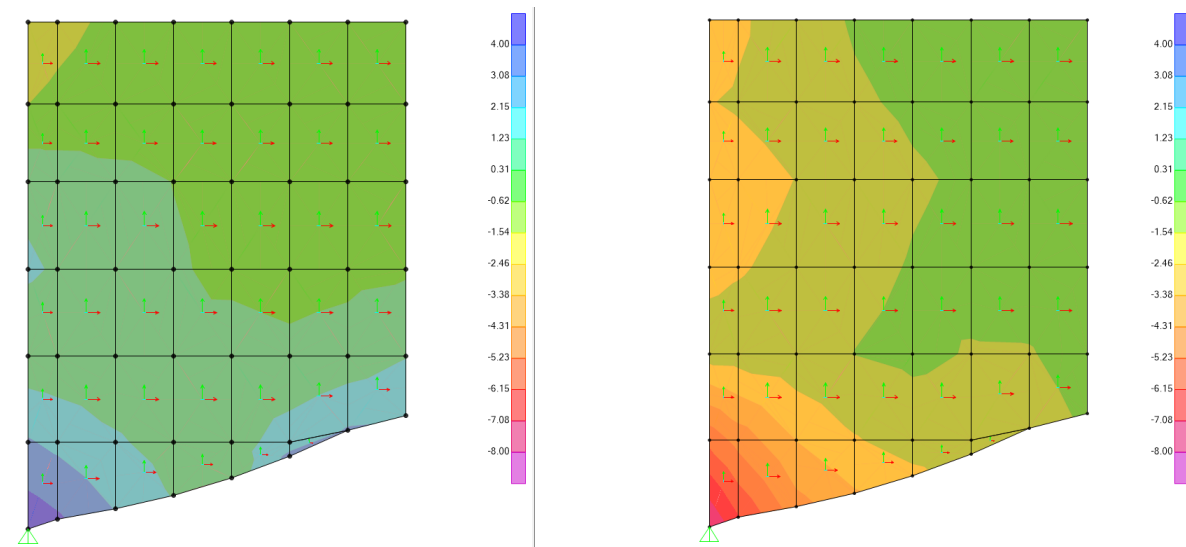


Figura 140: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 162 di 186

Muro destro

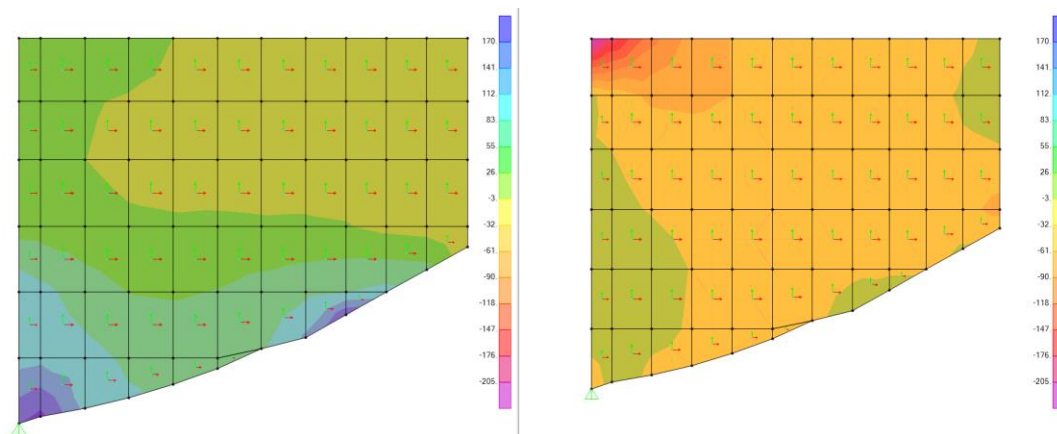


Figura 141: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

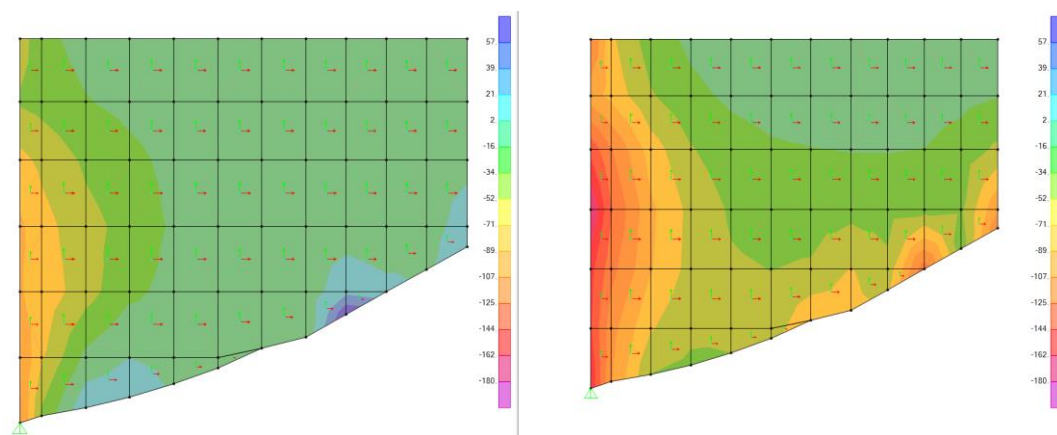


Figura 142: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

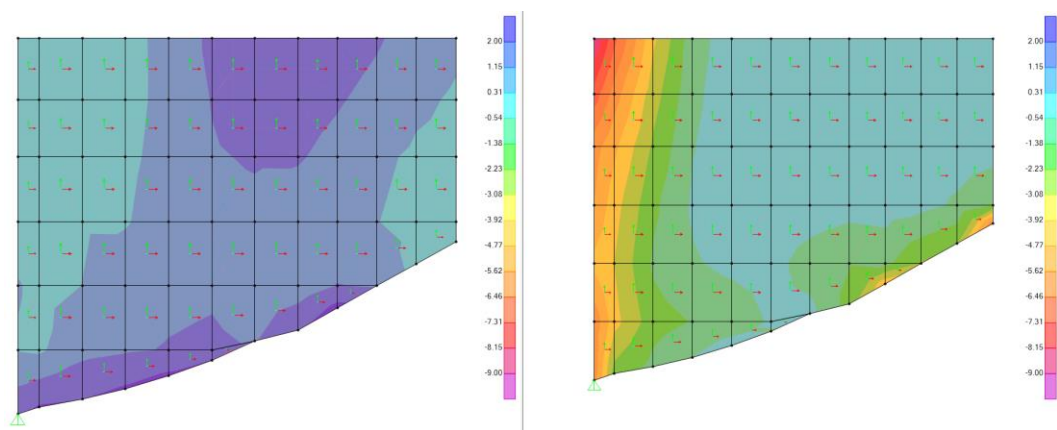


Figura 143: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 163 di 186

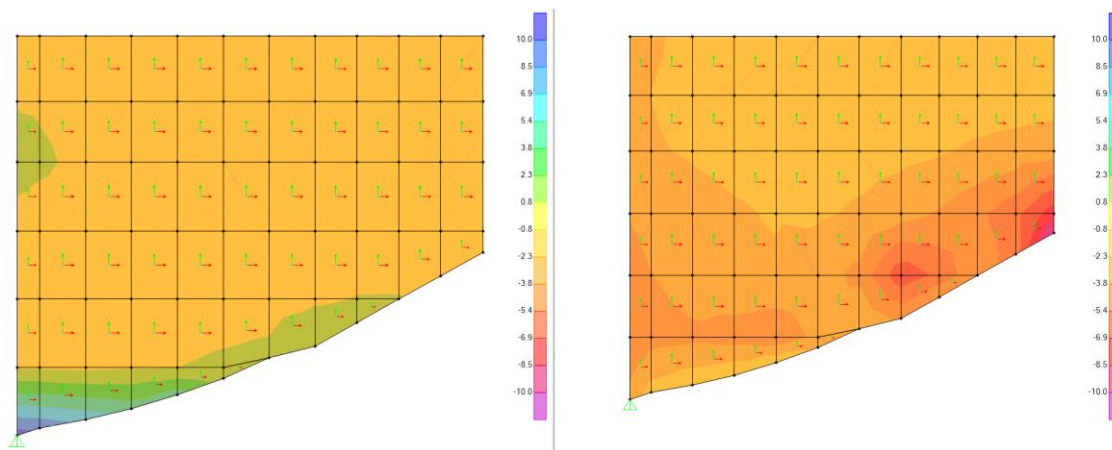


Figura 144: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

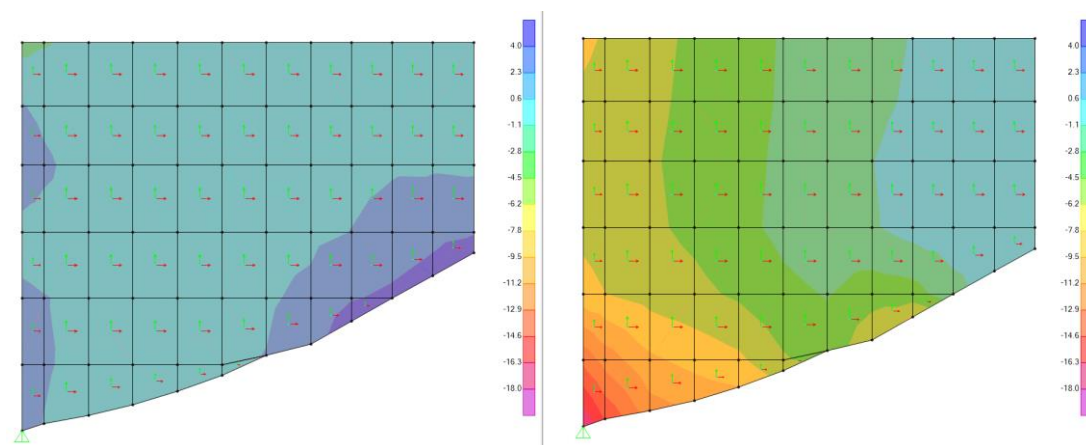


Figura 145: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

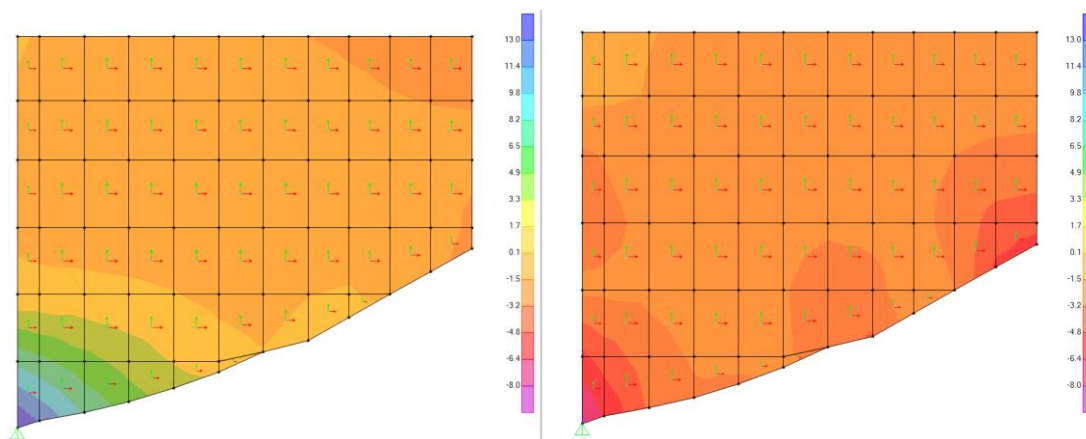


Figura 146: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 164 di 186

Struttura di supporto verticale

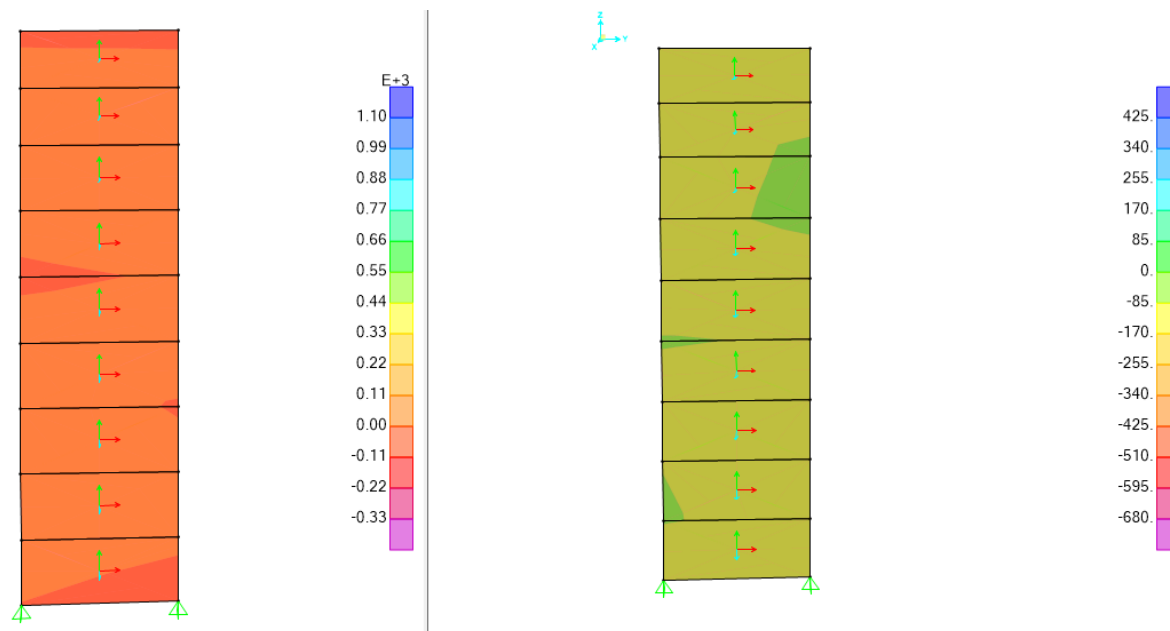


Figura 147: Forze assiali (F11) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

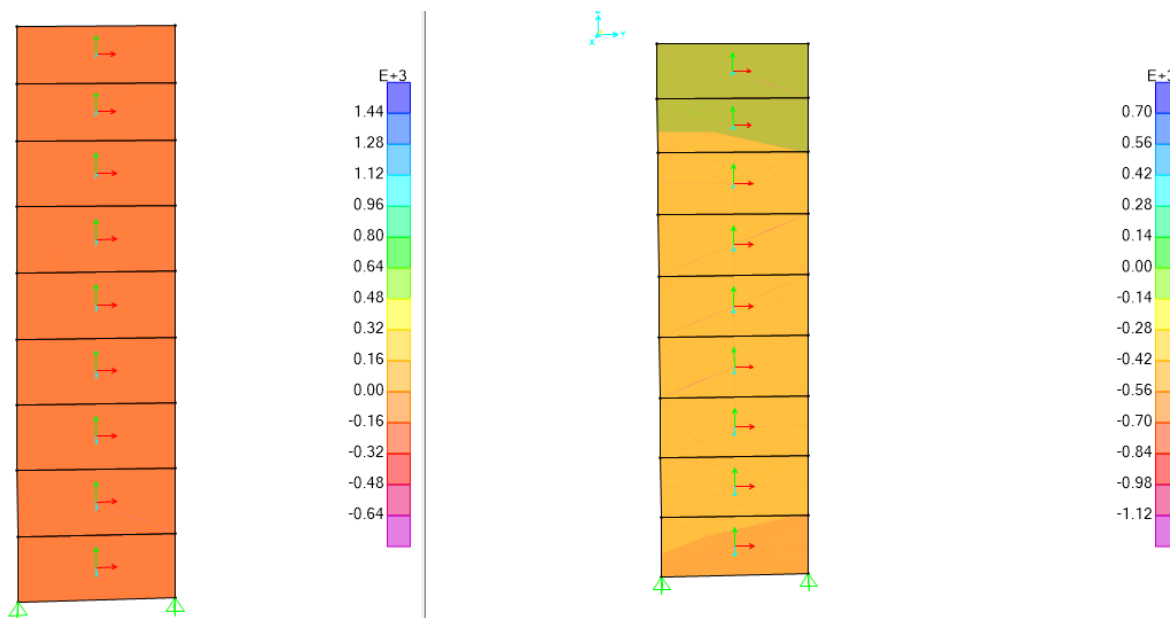


Figura 148: Forze assiali (F22) Envol_SLU. Massima a sinistra, minima a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 165 di 186

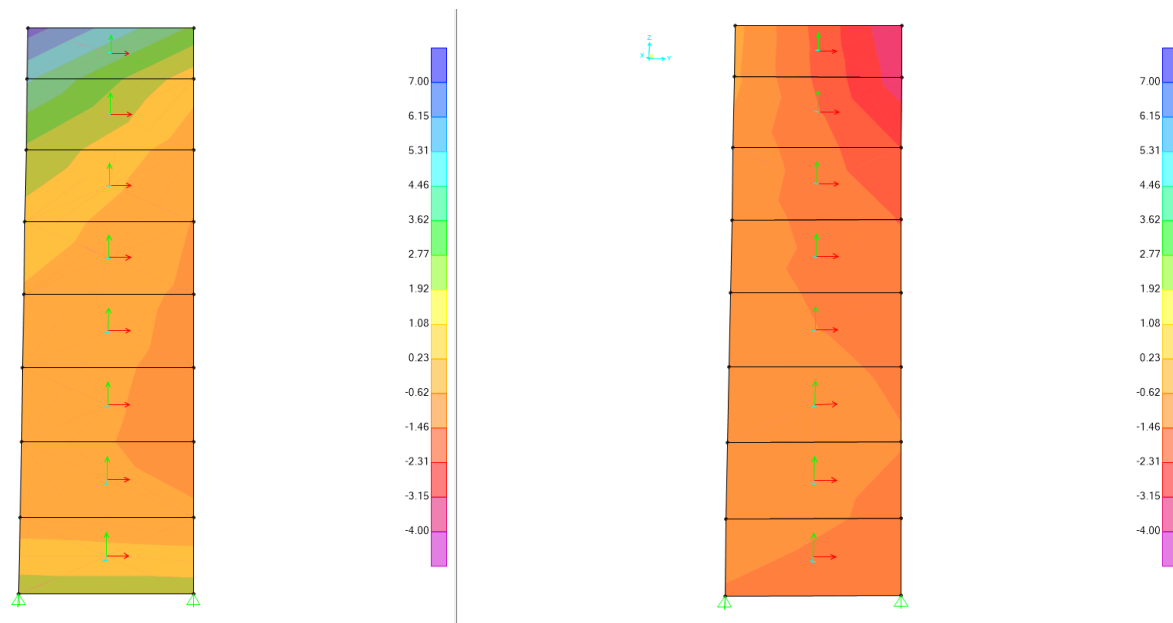


Figura 149: Momento flettente (M11) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

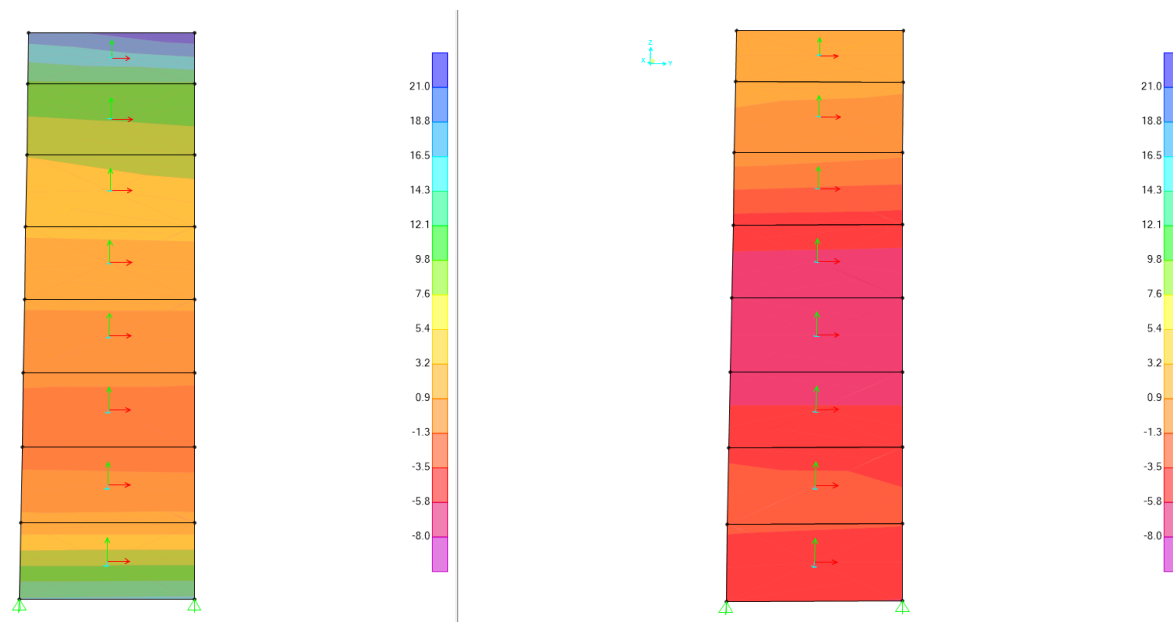


Figura 150: Momento flettente (M22) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 166 di 186

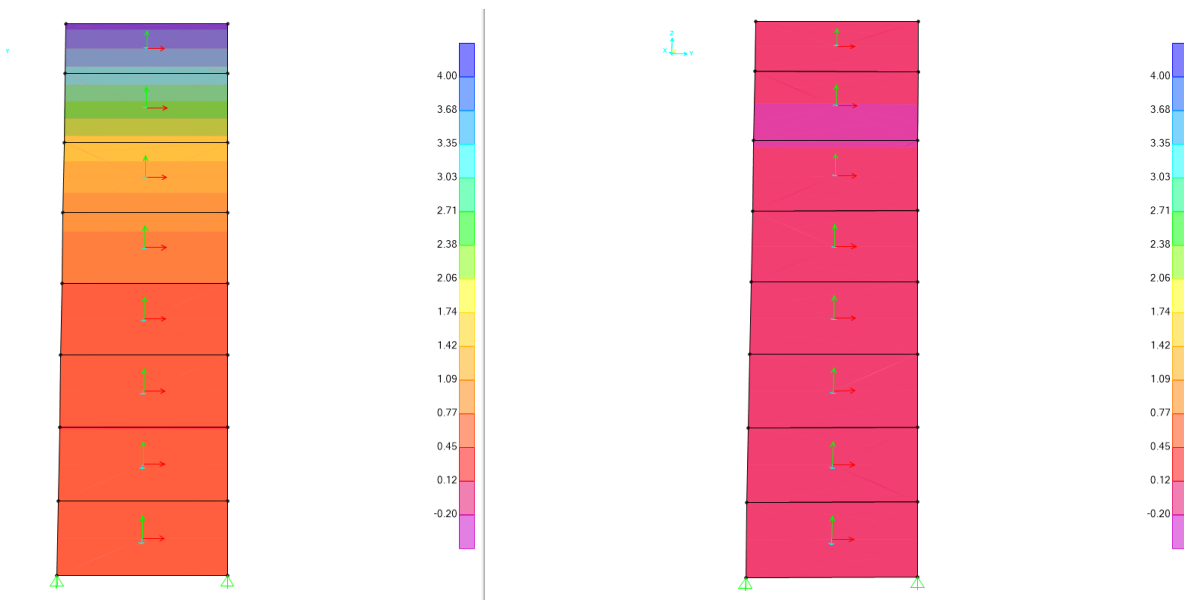


Figura 151: Forze di taglio (V13) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

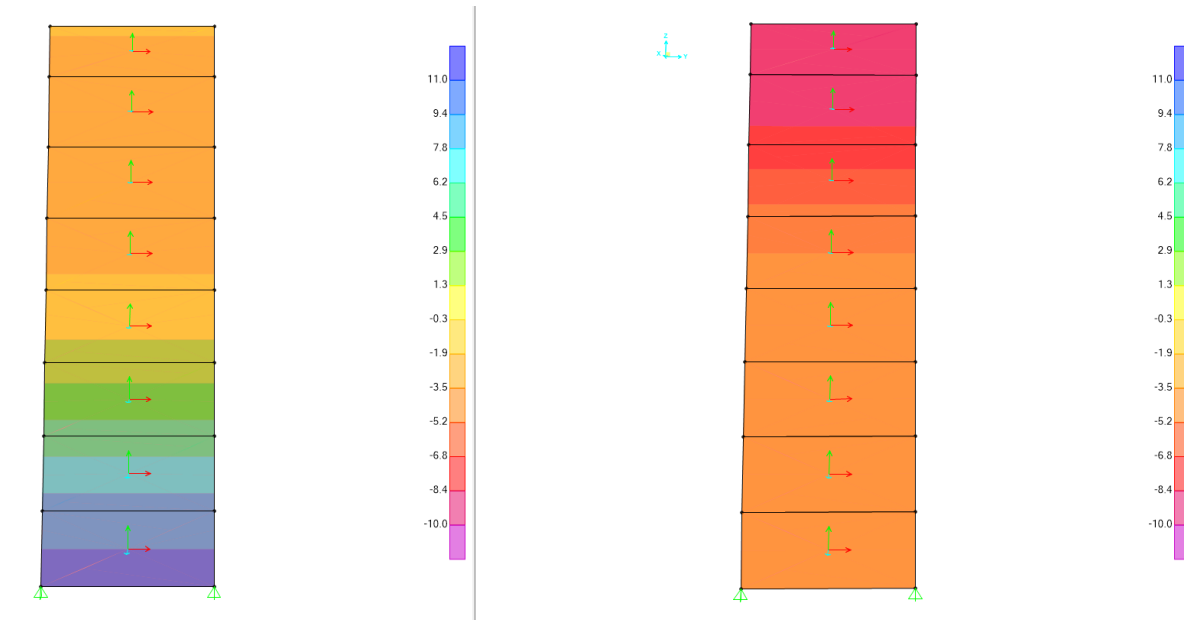


Figura 152: Forze di taglio (V23) Envol_SLU. Massimo a sinistra, minimo a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 167 di 186	

ALLEGATO E

Sollecitazioni allo SLE ottenute dal modello di calcolo – Salto di sci

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
		CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>		Data 22/12/2023
			Pagina 168 di 186

Gli sforzi presentati sono definiti in base all'asse locale degli elementi (rosso 11, verde 22, ciano 33).

Platea di fondazione

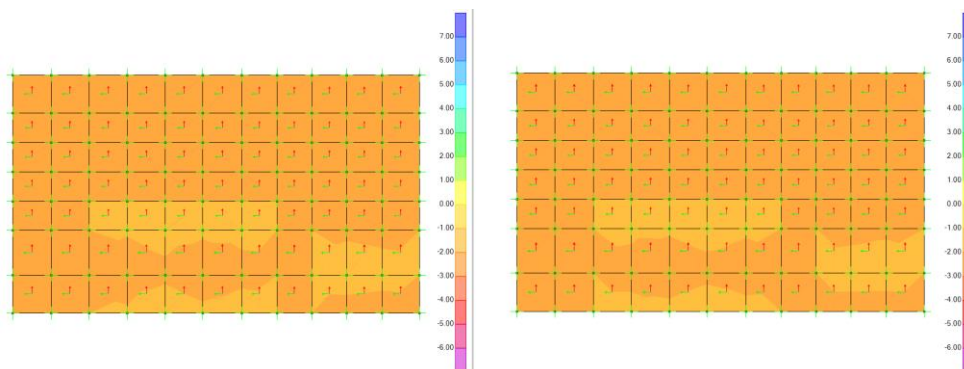


Figura 153: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

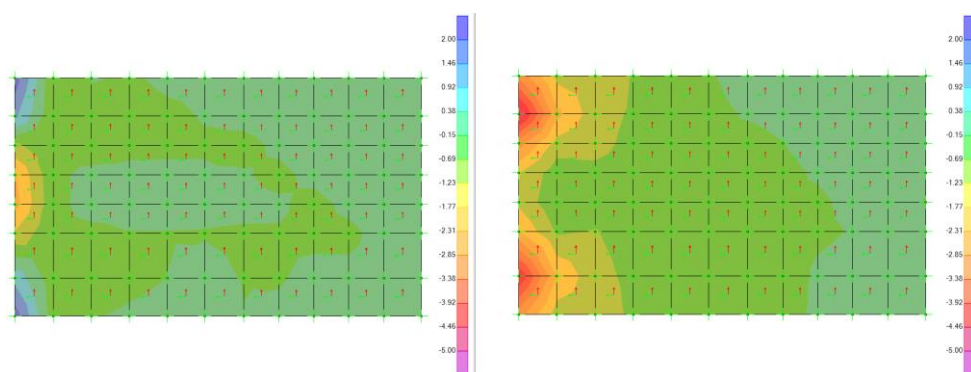


Figura 154: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

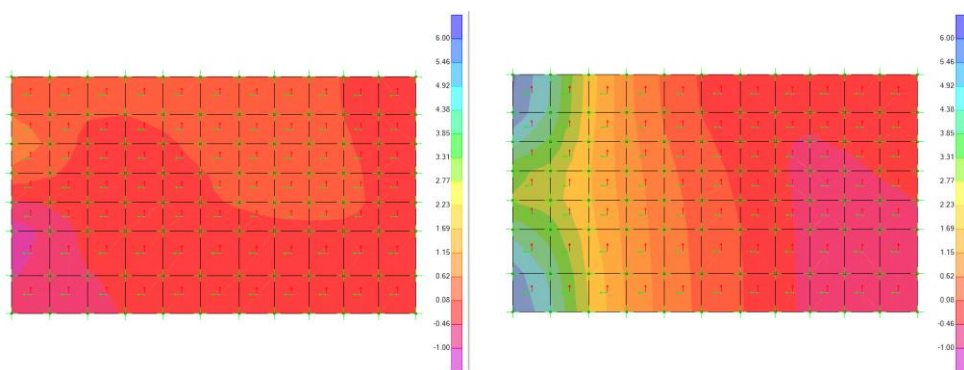


Figura 155: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 169 di 186

Muro sinistro

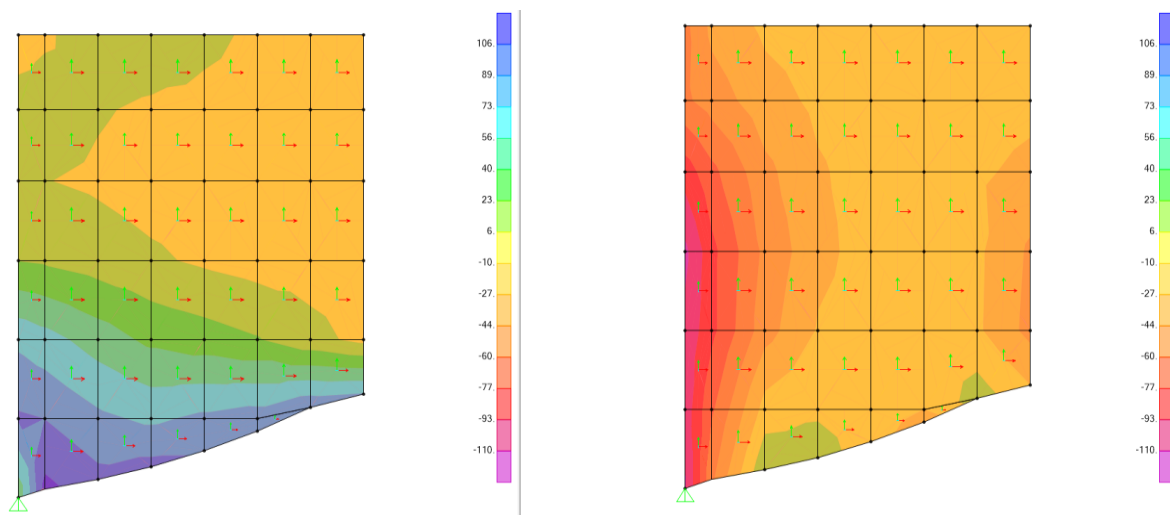


Figura 156: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

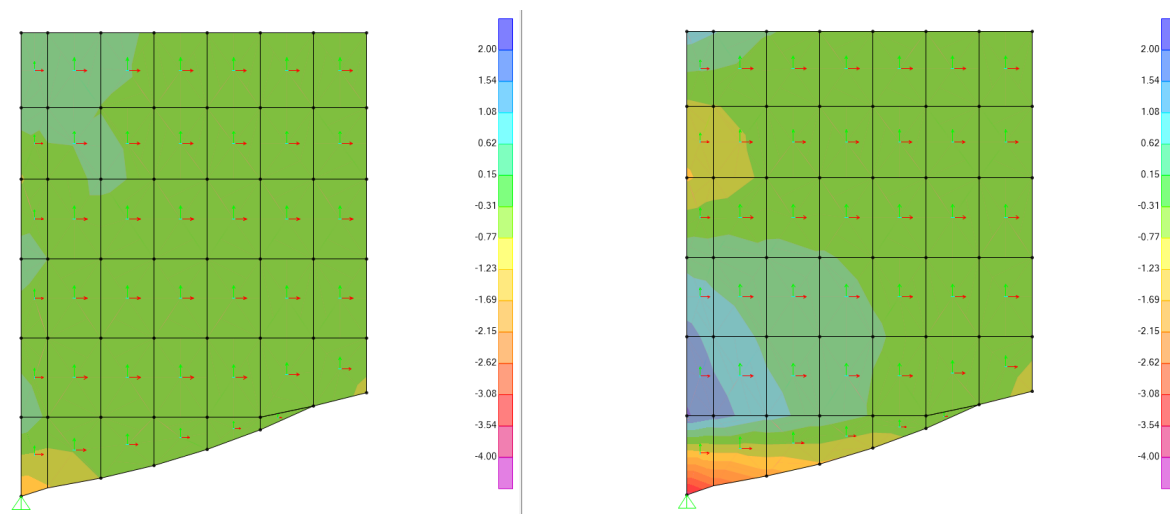


Figura 157: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 170 di 186

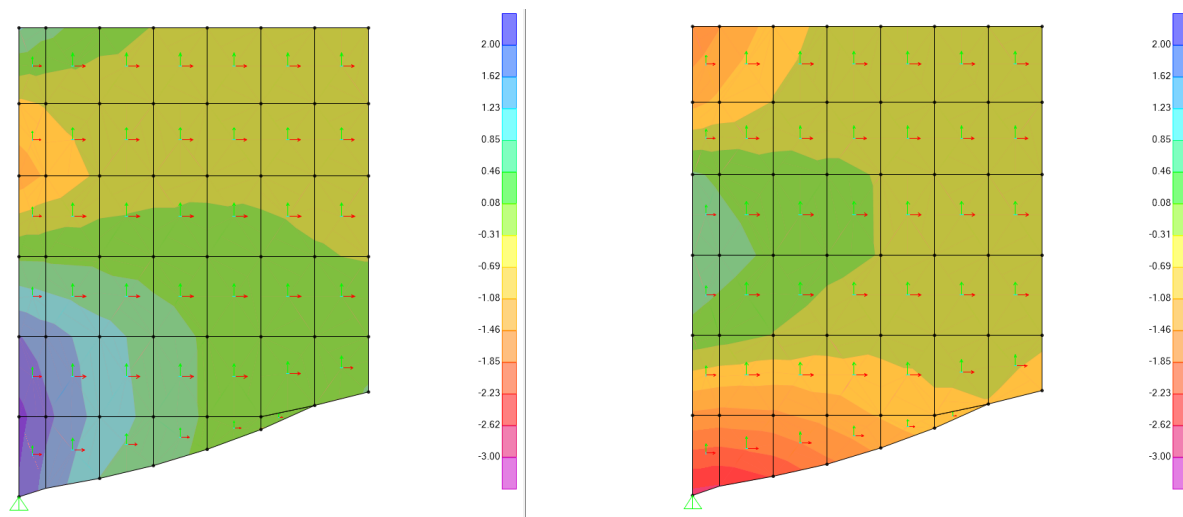


Figura 158: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

Muro destro

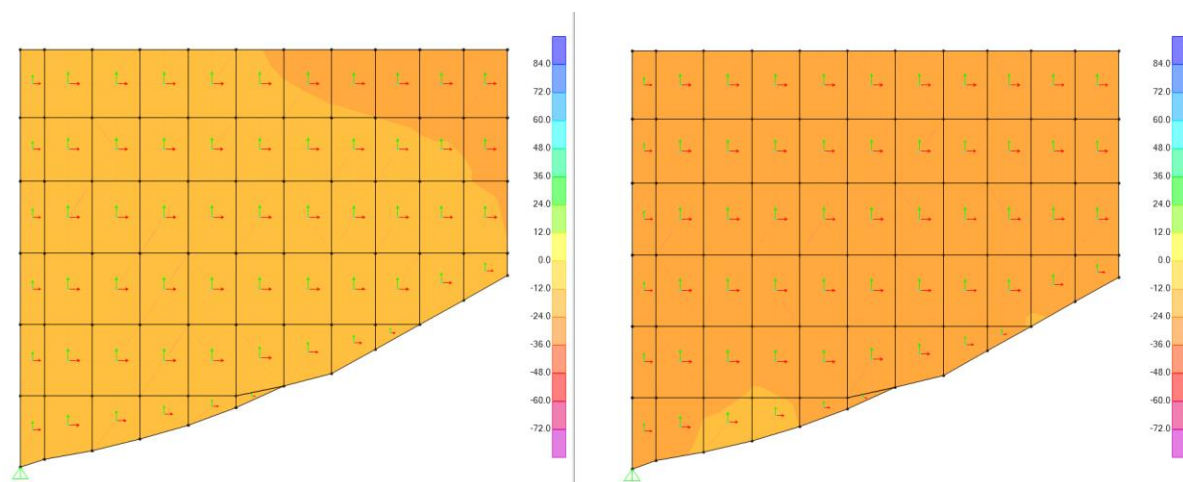


Figura 159: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 171 di 186

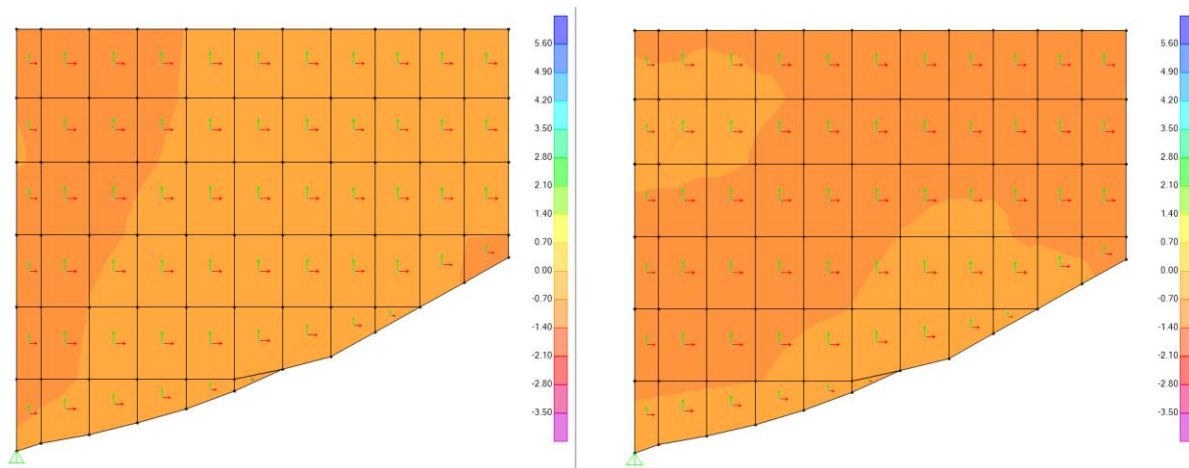


Figura 160: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

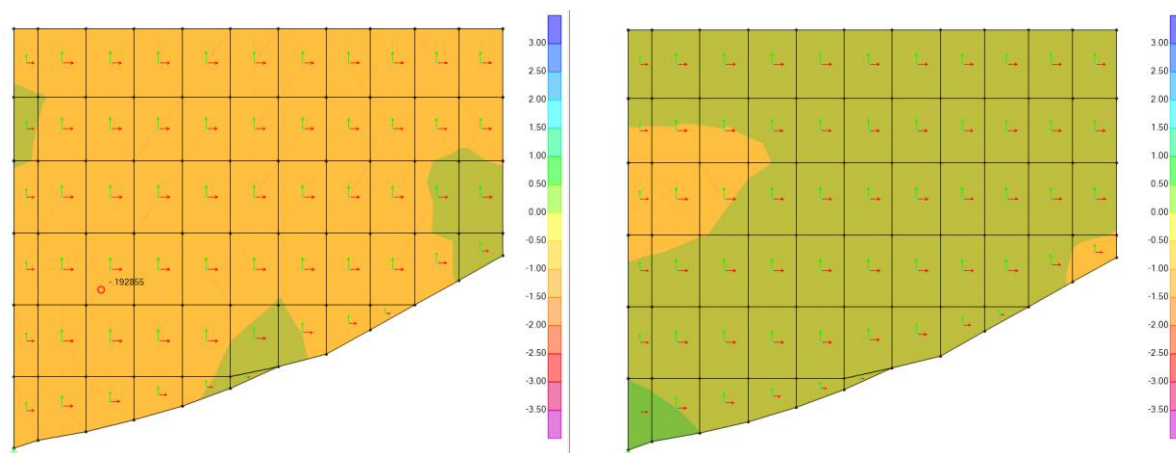


Figura 161: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 172 di 186

Struttura verticale di supporto

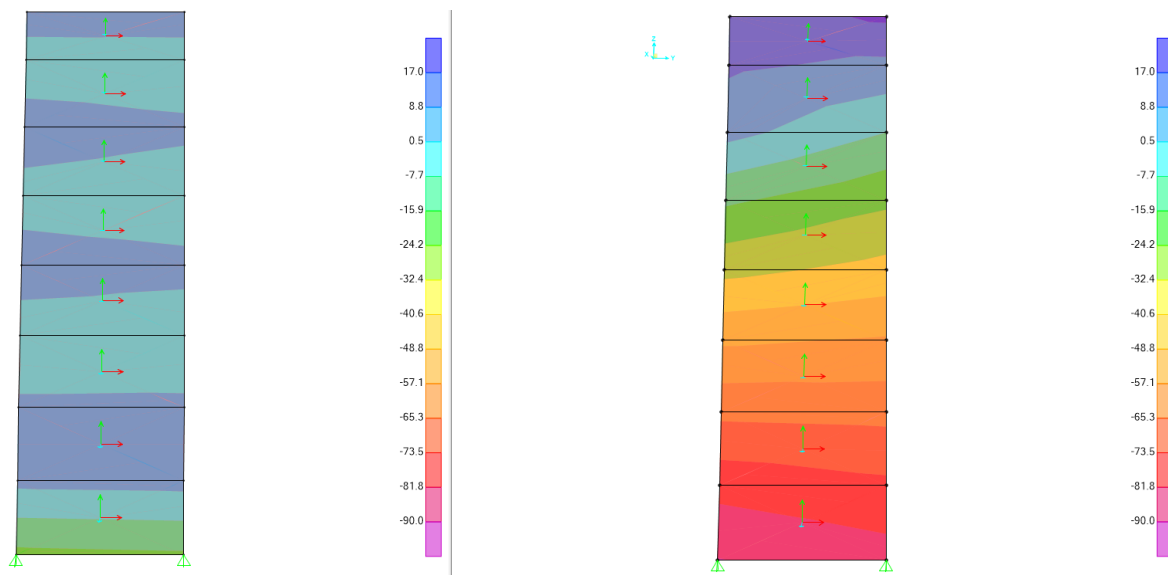


Figura 162: Forze assiali (F11 e F22) SLE Rara. F11 a sinistra, F22 a destra [kN].

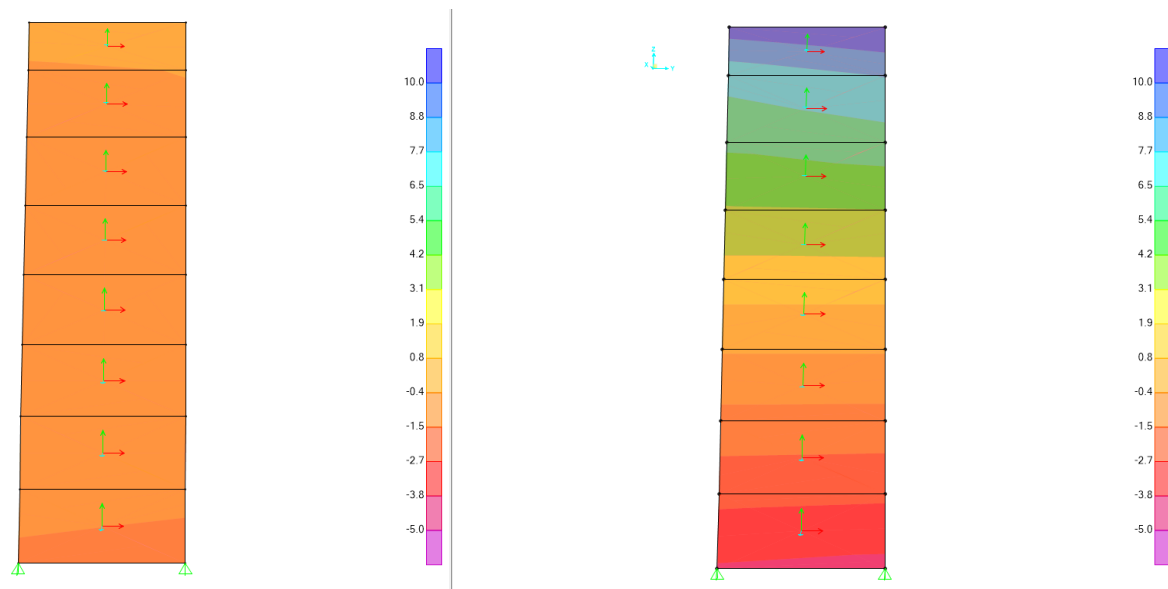


Figura 163: Momento flettente (M11 e M22) SLE Rara. M11 a sinistra, M22 a destra [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 173 di 186

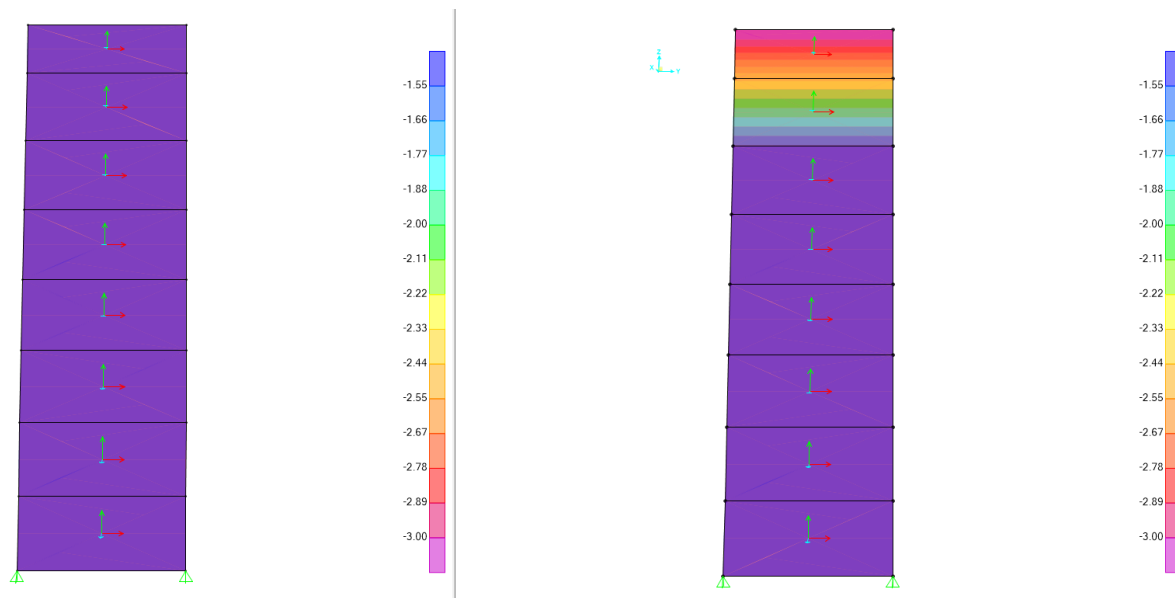


Figura 164: Forze di taglio (V13 e V23) SLE Rara. V13 a sinistra, V23 a destra [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 174 di 186	

ALLEGATO F

Risultati VcaSlu per il calcolo degli sforzi allo SLE – Salto di sci

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 175 di 186

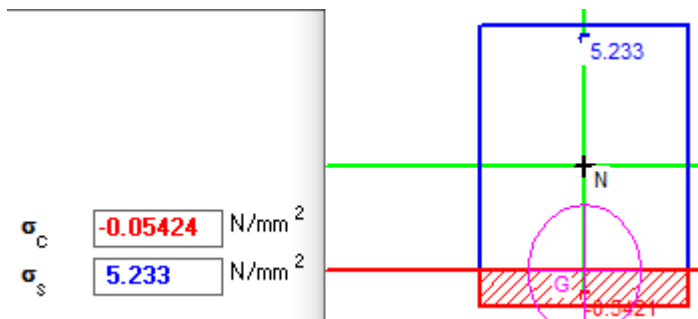


Figura 165: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per la platea di fondazione. Combinazione SLE rara [MPa].

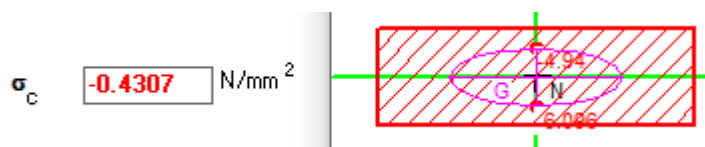


Figura 166: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro sinistro. Combinazione SLE rara [MPa].

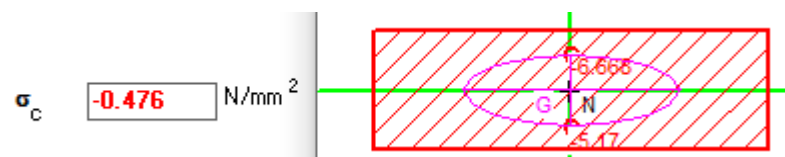


Figura 167: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per il muro destro. Combinazione SLE rara [MPa].

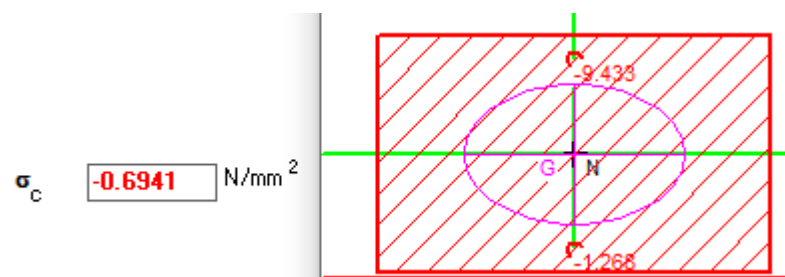


Figura 168: Sforzi nel calcestruzzo e nell'acciaio per la struttura verticale di supporto. Combinazione SLE rara [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 176 di 186	

ALLEGATO G

Sollecitazioni allo SLU ottenute dal modello di calcolo – Blindaggio

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 177 di 186

Gli sforzi presentati sono definiti in base all'asse locale degli elementi (rosso 11, verde 22, ciano 33).

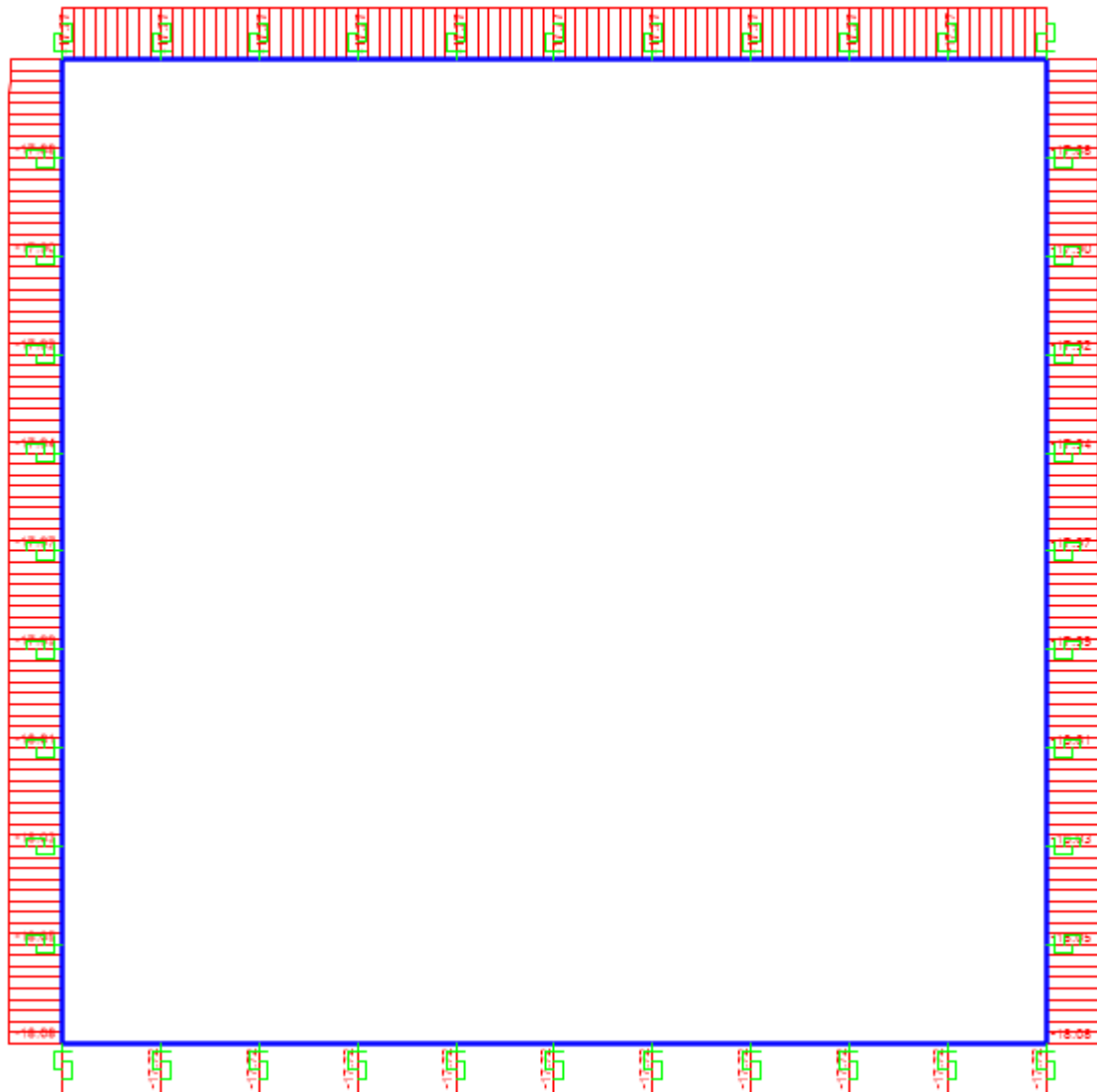


Figura 169: Forze assiali, Envov_SLU [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 178 di 186

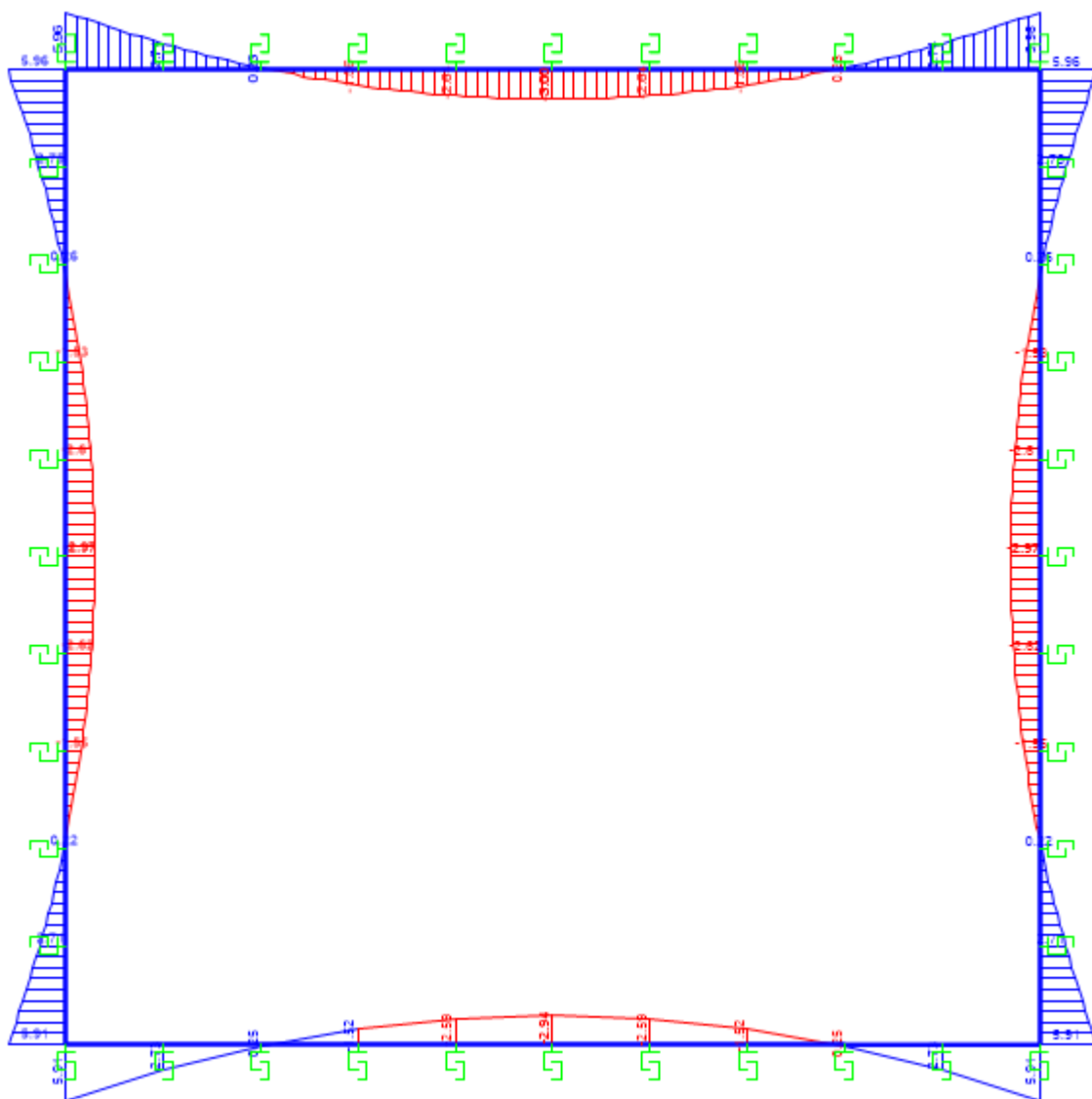


Figura 170: Momento flettente (M33) Envol_SLU [kNm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 180 di 186	

ALLEGATO H

Deformazioni allo SLE ottenute dal modello di calcolo – Blindaggio

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 181 di 186

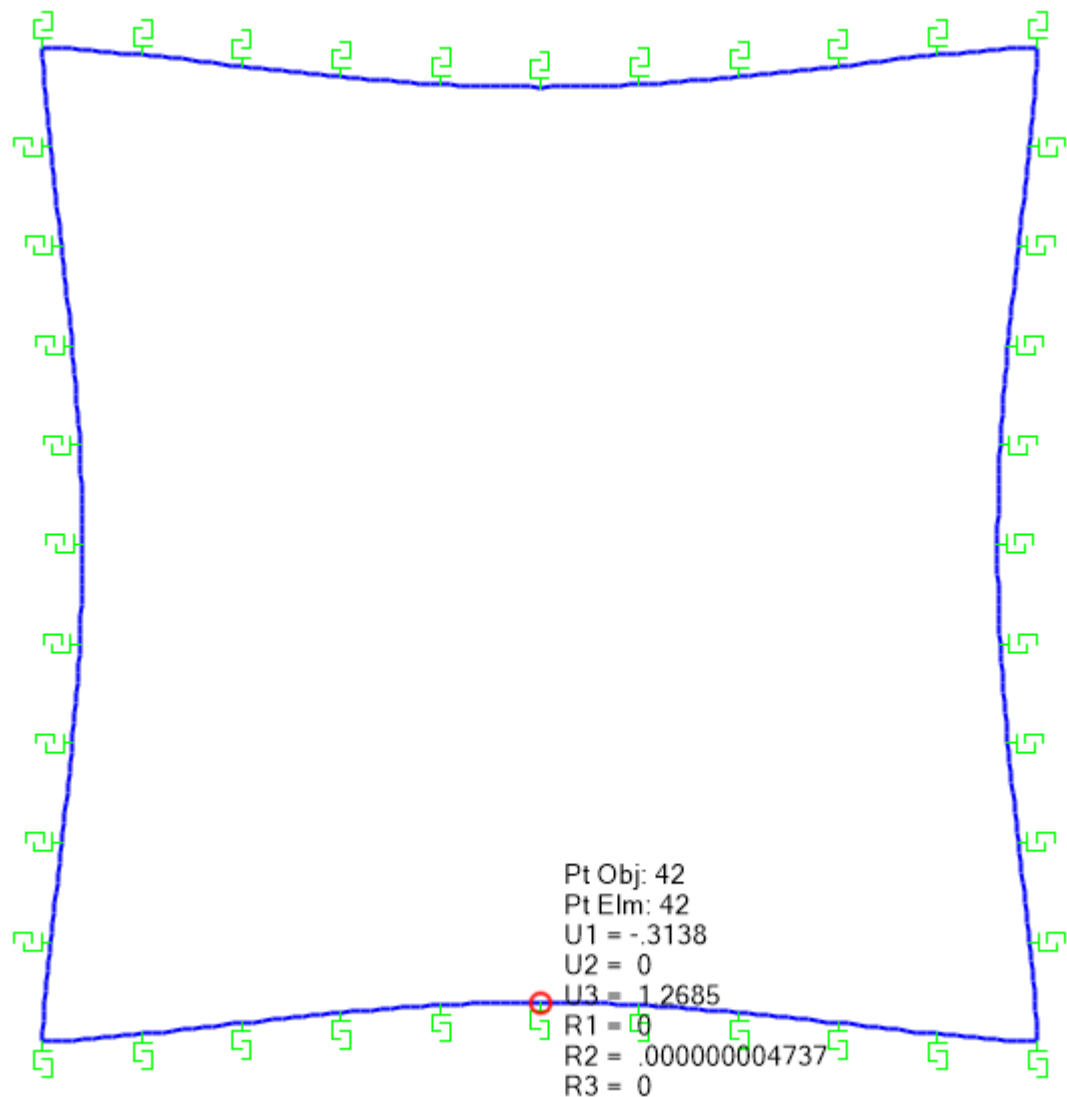


Figura 172: Deformazione lato inferiore. Combinazione SLE [mm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 182 di 186

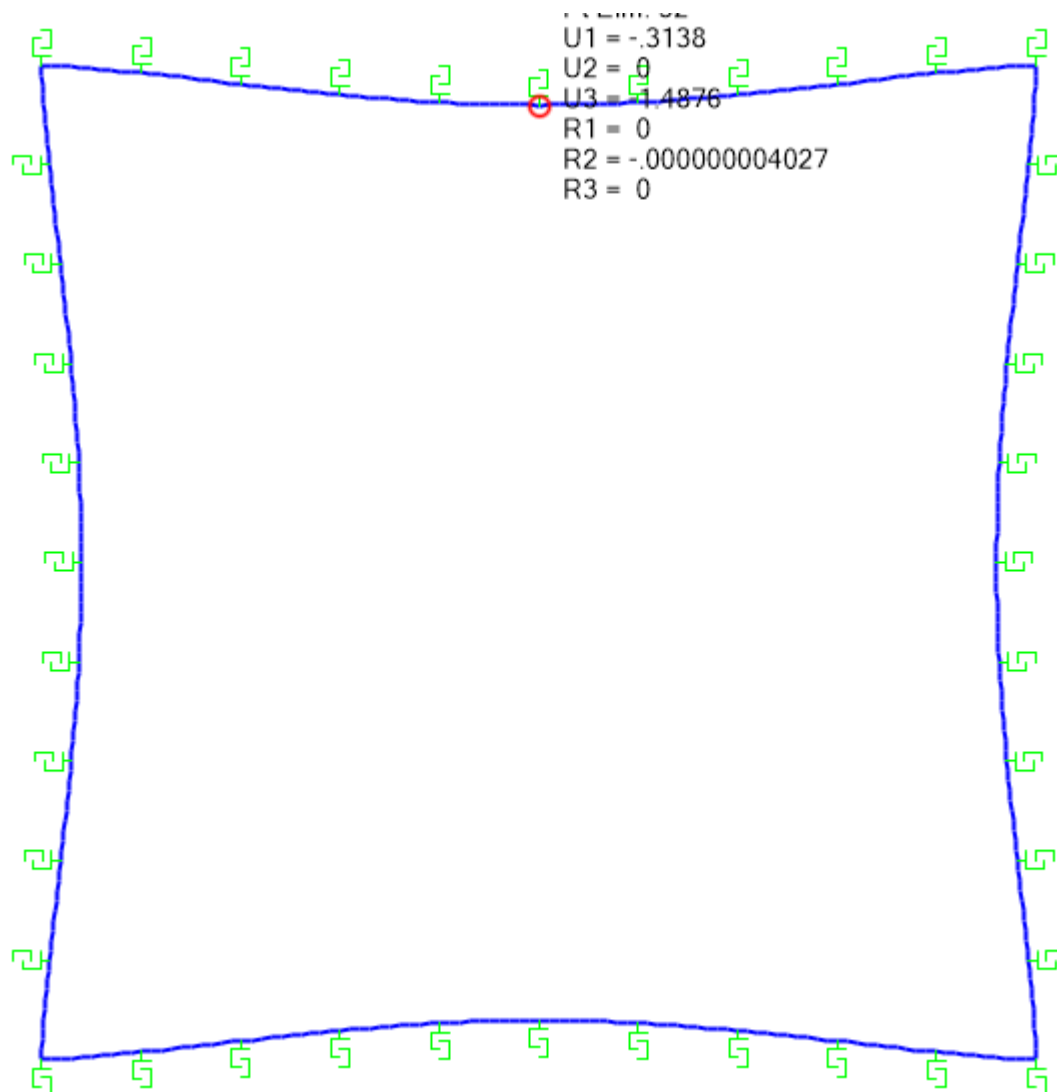


Figura 173: Deformazione lato superiore. Combinazione SLE [mm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C
		Data 22/12/2023
		Pagina 183 di 186

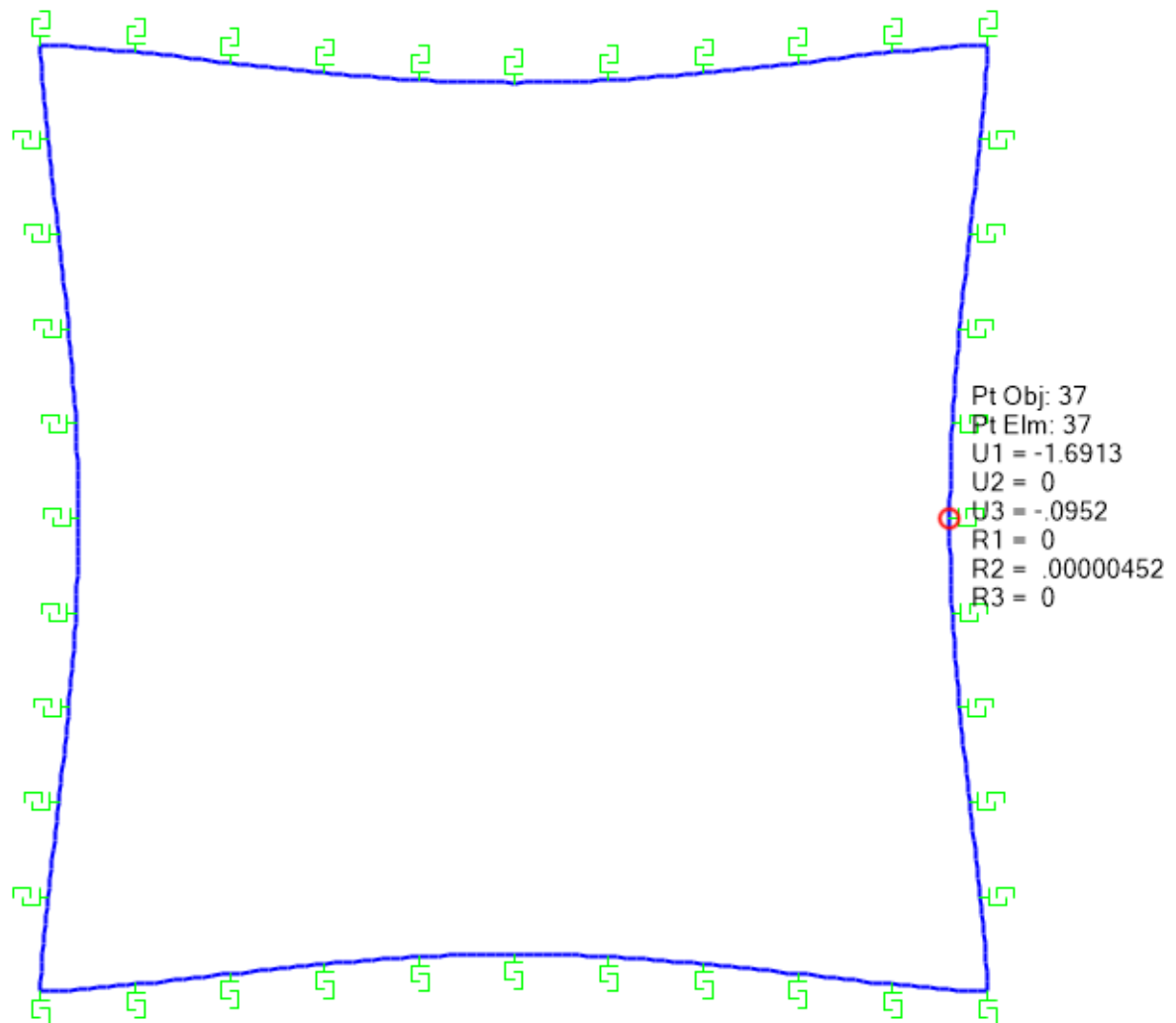


Figura 174: Deformazione lato destro. Combinazione SLE [mm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 184 di 186	

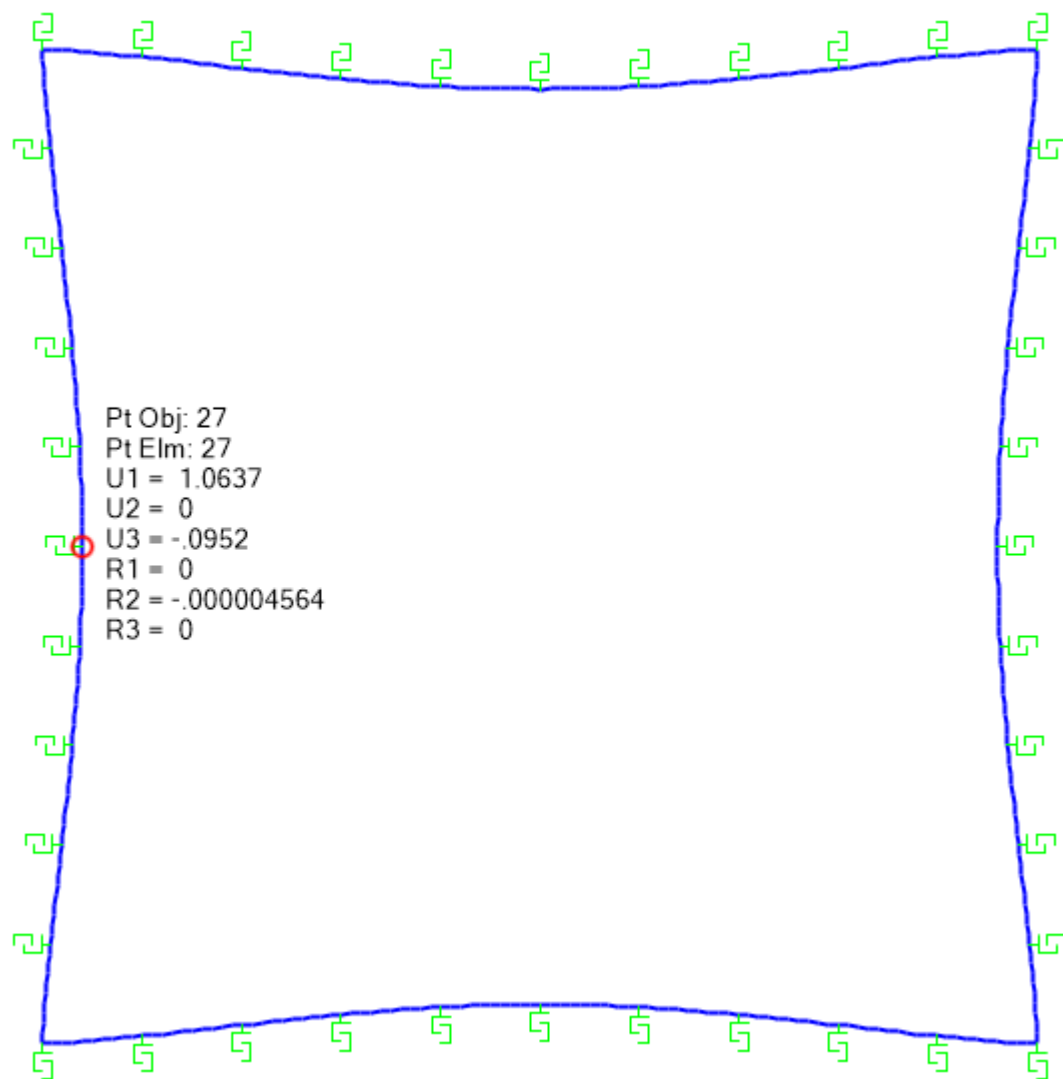


Figura 175: Deformazione lato sinistro. Combinazione SLE [mm].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.02	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione di calcolo delle strutture in c.a. e metalliche</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-DIG-RT-103C	
		Data 22/12/2023	
		Pagina 185 di 186	

ALLEGATO I

Sollecitazioni allo SLU ottenute dal modello di calcolo – Blocco di ancoraggio

