

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento preliminare paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104	
		Data 07/03/2023	
		Pagina 1 di 53	

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

Verifica preliminare della paratia di contenimento

Relazione Tecnica

IL COMMITTENTE  ENEL GREEN POWER ITALIA SRL Renewable Energies Italy O&M Hydro Italy Northern Central Area		07/03/2023			
		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)		07/03/2023			
		DATA		ING. M. BRAGHINI	
IL DIRETTORE LAVORI		L' INGEGNERE RESPONSABILE		IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	
		07/03/2023		07/03/2023	
DATA		DATA	ING. M. ARU	DATA	ING. A. BALESTRA

LOMBARDI SA INGEGNERI CONSULENTI



Lombardi SA Ingegneri Consulenti
Via del Tiglio, 2, C.P. 934,
CH-6512 Bellinzona Giubiasco (Svizzera)

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01	
	TITOLO Diga di Muzzone:	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104	
	Progetto di ripristino dello scarico di fondo	Data 07/03/2023	
	<i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	Pagina 2 di 53	

B	07.03.2023	SHO/AGi	MFr/Bal
A	15.07.2022	SHO/AGi	DAC/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.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 3 di 53

INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
1.1	Contesto generale e scopo del lavoro	5
1.2	Struttura del rapporto	5
1.3	Documenti di riferimento	6
1.3.1	Documentazione del progetto definitivo e di istruttoria	6
1.3.2	Documenti del progetto esecutivo	7
1.3.3	Riferimenti normativi e linee guida	7
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
3.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	11
3.1	Generalità sull'intervento di ripristino dello scarico di fondo	11
3.2	Descrizione della paratia di contenimento (guscio di tenuta)	12
4.	MATERIALI	15
4.1	Muratura	15
4.1.1	Caratteristiche del materiale costituente il corpo diga	15
4.1.2	Parametri di progetto	19
4.2	Acciaio	19
5.	ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO	20
5.1	Peso proprio	20
5.2	Spinta idrostatica	20
5.3	Combinazioni di calcolo	20
6.	STRUMENTI ANALITICI DI CALCOLO	22
6.1	Criteri e metodologie adottati per le verifiche	22
6.2	Modello di calcolo	22
7.	VERIFICA DELLA PARATIA DI CONTENIMENTO	23

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 4 di 53

7.1	Generalità	23
7.2	Verifica di stabilità locale	23
8.	VERIFICA ANELLO DI COLLEGAMENTO	27
8.1	Generalità	27
8.2	Verifica di resistenza	27
8.3	Verifica degli irrigidimenti	29
9.	VERIFICA PIASTRA DI CONNESSIONE	30
9.1	Generalità	30
9.2	Verifica di resistenza bulloni e piastra	30
9.3	Verifica di resistenza locale della muratura	33
9.3.1	Rottura del bordo libero di muratura	33
9.3.2	Verifica a punzonamento della muratura	35
10.	CONCLUSIONI	37

ALLEGATI:

- A Tensioni nel guscio di chiusura
- B Tensioni nell'anello di connessione
- C Reazioni agli appoggi

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone:	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
	Progetto di ripristino dello scarico di fondo	Data 07/03/2023
	<i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	Pagina 5 di 53

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, UTDC), 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.

Scopo del presente rapporto è la verifica preliminare della paratia temporanea di contenimento (nel seguito denominata anche guscio di tenuta) necessaria per garantire l'esecuzione e la sicurezza dei lavori di ripristino dello scarico di fondo in progetto, di cui è prevista comunque l'esecuzione in presenza di un notevole battente idraulico, secondo le migliori condizioni operative e di sicurezza al momento consentite dall'assetto delle opere di scarico.

La progettazione ed i calcoli esecutivi del guscio di tenuta e dei relativi elementi di montaggio saranno a carico dell'impresa specializzata, con particolare riferimento al condotto di accesso alla camera interna, di cui al momento non si tiene conto in fase di dimensionamento preliminare.

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:** presenta una breve descrizione dell'intervento in progetto;
- **Capitolo 4:** illustra le principali caratteristiche dei materiali;
- **Capitolo 5:** contiene la definizione dei carichi e combinazioni di carico utilizzate per la verifica preliminare della paratia di contenimento;

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 6 di 53

- **Capitolo 6:** descrive il modello di calcolo sviluppato per l'analisi tensionale del guscio di tenuta;
- **Capitolo 7:** presenta le verifiche eseguite per la paratia di contenimento;
- **Capitolo 8:** contiene le verifiche dell'anello di connessione tra paratia e muratura esistente;
- **Capitolo 9:** illustra le verifiche dei collegamenti;
- **Capitolo 10:** contiene le conclusioni 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] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone –Diga di Muzzone (SS) – Studio idrologico dell'invaso – Aggiornamento al 2018 (UID1961).
- [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 – 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.
- [7] 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 Ripristino dello Scarico di Fondo – Progetto Definitivo 2016 – Integrazioni 2019 – Relazione Istruttoria.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 7 di 53

[8] 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

[9] Lombardi: 2020.0240.002-GT-GEN-RT-501 Indagini strutturali e geognostiche eseguite

1.3.3 Riferimenti normativi e linee guida

[10] M.I.T. – Decreto 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni – G.U. n. 42 del 20.02.2018.

[11] Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.

[12] European Standard EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. 2004.

[13] European Standard EN 1993-1-3. Eurocode 3: Progettazione delle strutture di acciaio Part 1-5: Elementi strutturali a lastra. 2009

[14] European Standard EN 1992-4-4. Eurocodice 2: Progettazione di attacchi da utilizzare nel calcestruzzo Parte 4-4: Ancoraggi post-installati – Ancoraggi meccanici. 2009

[15] European Standard EN 1993-1-8. Eurocode 3: Progettazione delle strutture di acciaio Part 1-8: Progettazione dei collegamenti. 2009

[16] E. Ventsel & T. Krauthammer – Thin plates and Shells – Theory, analysis and applications

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 8 di 53

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 di diabasi 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.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 9 di 53



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,

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone:	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
	Progetto di ripristino dello scarico di fondo	Data 07/03/2023
	<i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	Pagina 10 di 53

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 ravvivate e sagomate in 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.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 11 di 53

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

3.1 Generalità sull'intervento di ripristino dello scarico di fondo

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**).

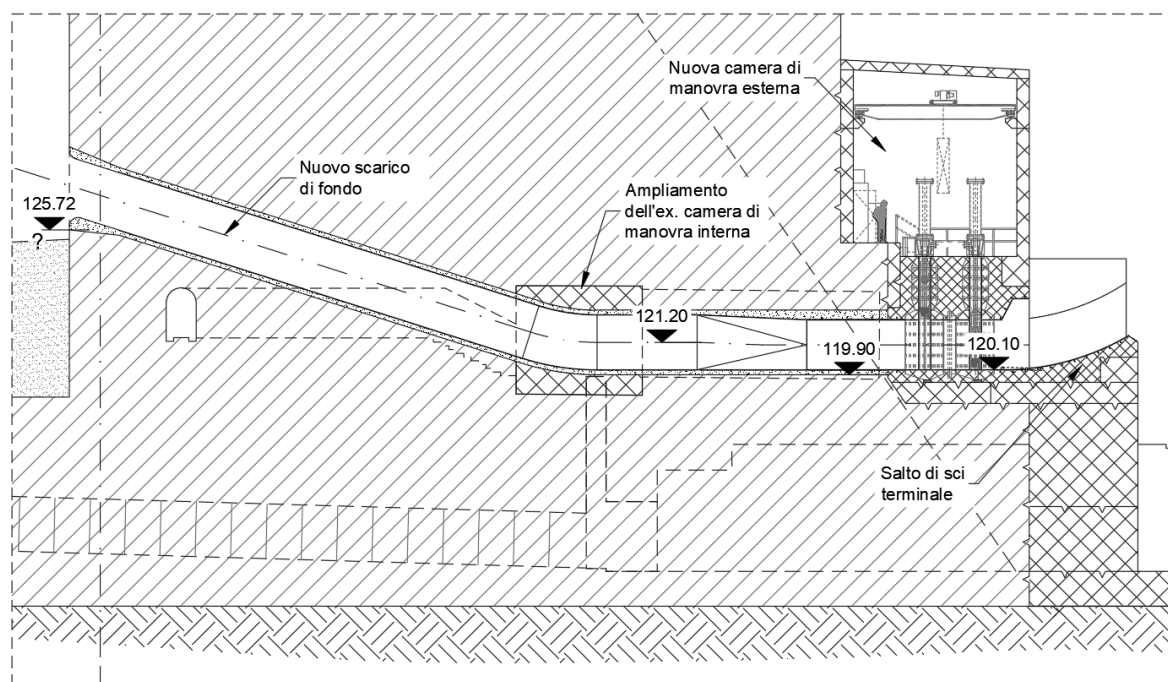


Figura 2: Sezione in asse al nuovo scarico di fondo in corpo diga.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 12 di 53

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 in pianta 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 di uscita a 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 un salto di sci opportunamente dimensionato per la dissipazione in aria dell'energia della portata scaricata.
- deviazione del tratto finale in orizzontale 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".

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.

3.2 Descrizione della paratia di contenimento (guscio di tenuta)

L'importanza dell'invaso del Coghinas come riserva idrica per la Sardegna Settentrionale rende quanto mai difficoltoso programmare ed attuare uno svasso prolungato del serbatoio. Per questo motivo si è reso necessario studiare e approfondire una modalità realizzativa dell'intervento che riduca al minimo la durata delle condizioni di invasore ai minimi livelli.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 13 di 53

La principale difficoltà nella realizzazione del nuovo scarico consiste pertanto nell'eseguire la perforazione nel corpo diga in presenza di un battente idraulico notevole, secondo i condizionamenti imposti dalle opere di scarico effettivamente utilizzabili nella fase di esecuzione dei lavori. Per superare questa difficoltà realizzando le migliori condizioni di sicurezza per il personale addetto all'esecuzione dei lavori di perforazione si prevede il collocamento di un guscio a tenuta idraulica sul paramento di monte in prossimità dello sbocco della perforazione. Tale elemento avrà dunque l'importante funzione di isolare l'intervento in progetto dall'invaso e garantire l'esecuzione delle lavorazioni in totale sicurezza.

La fase di installazione della paratia e l'ancoraggio della stessa al paramento della diga si presenta come la più delicata, poiché saranno necessarie lavorazioni speciali di tipo subacqueo. Si ritiene opportuno mantenere, durante tutto l'arco temporale di esercizio della paratia (dall'installazione fino allo smontaggio), il battente idrico alla quota definita nell'attuale Piano di Laminazione (162.00 m s.l.m.).

Relativamente alla geometria della paratia è stata considerata, in questa fase preliminare di calcolo, una struttura con forma semiellittica (v. **Figura 3**) caratterizzata dai seguenti parametri:

$a = 1.40$ m	raggio minore della ellisse
$b = 2.30$ m	raggio maggiore della ellisse
$t = 18$ mm	spessore della ellisse
$t_p = 18$ mm	spessore piastra di connessione

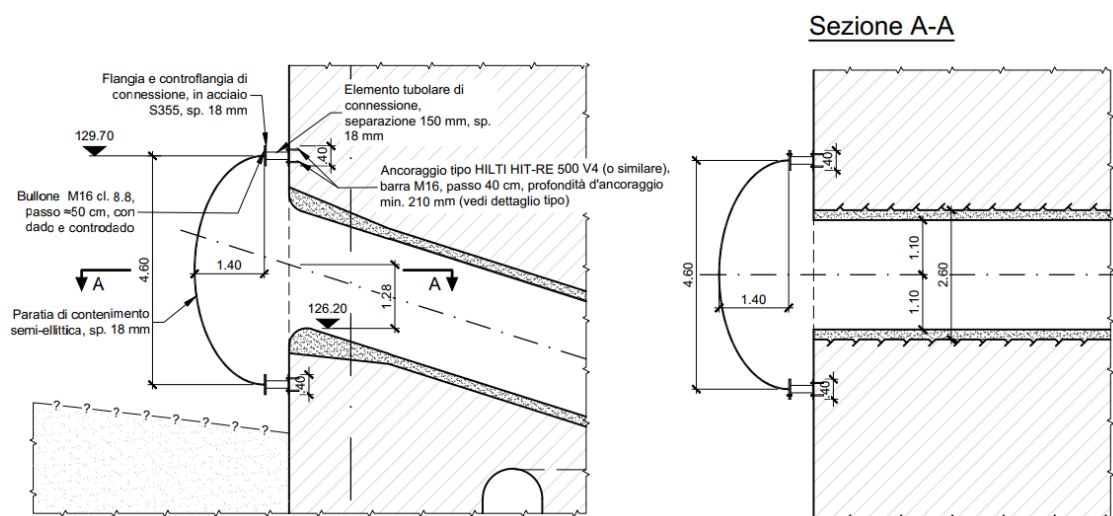


Figura 3. Geometria paratia di contenimento.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104	
		Data 07/03/2023	
		Pagina 14 di 53	

L'elemento di connessione tra il guscio semiellittico e la muratura della diga, denominato anello di collegamento, è costituito da due tubi di diametro rispettivamente 4.45 m e 4.75 m, collegati fra loro mediante piastre di irrigidimento disposte a passo 0.40 m. Lo spessore degli elementi formanti l'anello è assunto costante e pari a 18 mm. Alle estremità dell'anello si prevede la presenza di due flange saldate che avranno la funzione di realizzare da un lato, il collegamento con il guscio, e dall'altro il fissaggio dell'intera struttura al paramento della diga. Infine, per l'inghisaggio della paratia alla muratura esistente, si prevede l'utilizzo di ancoraggi tipo HILTI-HIT-RE 500 V4 (o equivalenti) o comunque tali da permettere l'applicazione in subacqueo e garantire elevate prestazioni dei collegamenti.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 15 di 53

4. MATERIALI

4.1 Muratura

4.1.1 Caratteristiche del materiale costituente il corpo diga

Le caratteristiche dei materiali costituenti l'elemento in analisi sono state definite sulla base dei risultati delle indagini ISMES (1989) [1] e della campagna di investigazioni geognostiche eseguite da TECNOIN GEOSOLUTIONS nel giugno 2021 [9] eseguite sul corpo dello sbarramento.

All'interno del documento Enel *“Verifiche di sicurezza in relazione al nuovo massimo invaso”* [1] si riporta quanto segue: *“Dalle prove eseguite sui campioni di muratura, costituiti da un conglomerato composto da malta cementizia ed inerti variamente assortiti, sono stati ottenuti dei risultati caratterizzati da una discreta variabilità”*

I valori medi ottenuti relativamente ai campioni della muratura analizzati sono i seguenti:

– Massa volumica apparente	2.16 t/m ³
– Velocità sonica pre-essiccazione	3'980 m/s
– Velocità sonica post-essiccazione	3'610 m/s
– Resistenza a trazione diretta	0.67 MPa
– Modulo elastico secante (tra 0.5 e 7 MPa)	17'750 MPa
– Coefficiente di Poisson (tra 0.5 e 7 MPa)	0.16 MPa
– Coefficiente di permeabilità	3.5 x 10 ⁻⁸ cm/s

Nell'ambito della progettazione esecutiva, Lombardi SA ha richiesto la realizzazione di ulteriori attività conoscitive sull'opera, al fine di ricavare le informazioni necessarie per lo svolgimento dell'incarico. In particolare, sono state realizzate le seguenti indagini in corrispondenza del concio della diga in cui è prevista la realizzazione del nuovo scarico di fondo:

- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo eseguito sul coronamento della diga spinto sino alla profondità di 90 m dal p.c.
- n. 4 prove di permeabilità/assorbimento Lugeon
- n. 10 prove di compressione su campioni di carotaggio (C1-C10)
- n. 1 log ottico e acustico in foro

Si riportano graficamente i risultati delle prove di compressione eseguite sui provini:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 16 di 53

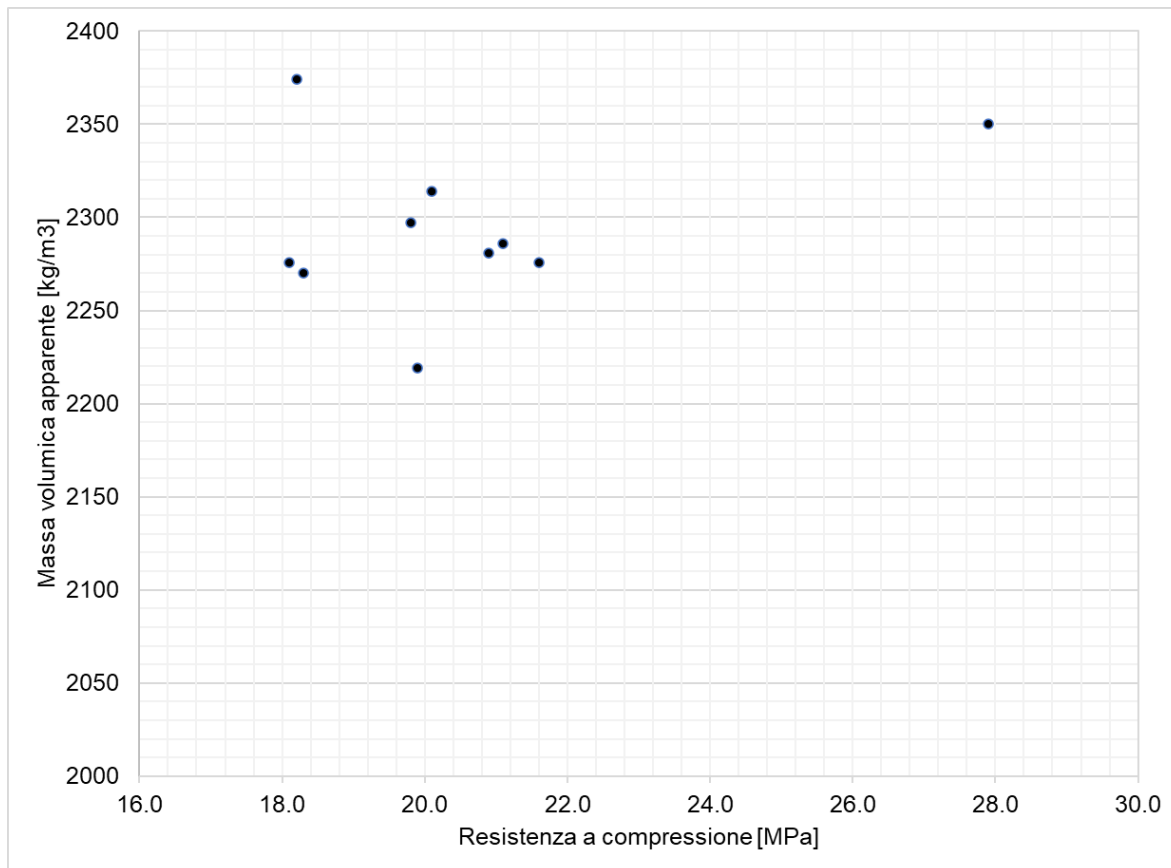


Figura 4: Risultati indagini: resistenza a compressione.

Da **Figura 4** si evince come le resistenze a compressione dei provini, si distribuiscono con un buon livello di omogeneità, fatto salvo i risultati del campione C10 (visibile sulla destra in **Figura 4**) il quale fornisce valori di resistenza notevolmente più elevati rispetto agli altri.

Per questo motivo, si è deciso di eliminare il provino C10 dalla caratterizzazione del materiale. Tale scelta risulta peraltro cautelativa nella definizione della resistenza media del materiale, andando di fatto ad escludere dalla valutazione i provini con valori più elevati.

La resistenza a compressione caratteristica della muratura f_{ck} è stata calcolata elaborando statisticamente i campioni testati a compressione. In **Figura 5** e **Figura 6** si riportano i risultati dell'elaborazione statistica dei campioni testati a compressione, ad esclusione del provino C10.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 17 di 53

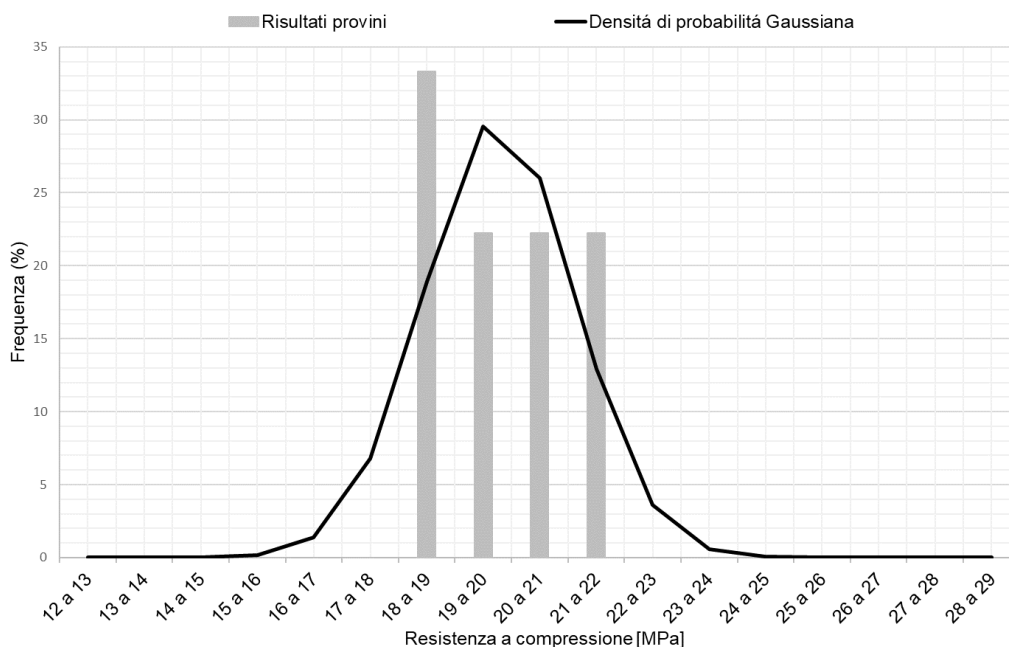


Figura 5: Risultati indagini: elaborazione statistica dei provini testati a compressione – distribuzione normale.

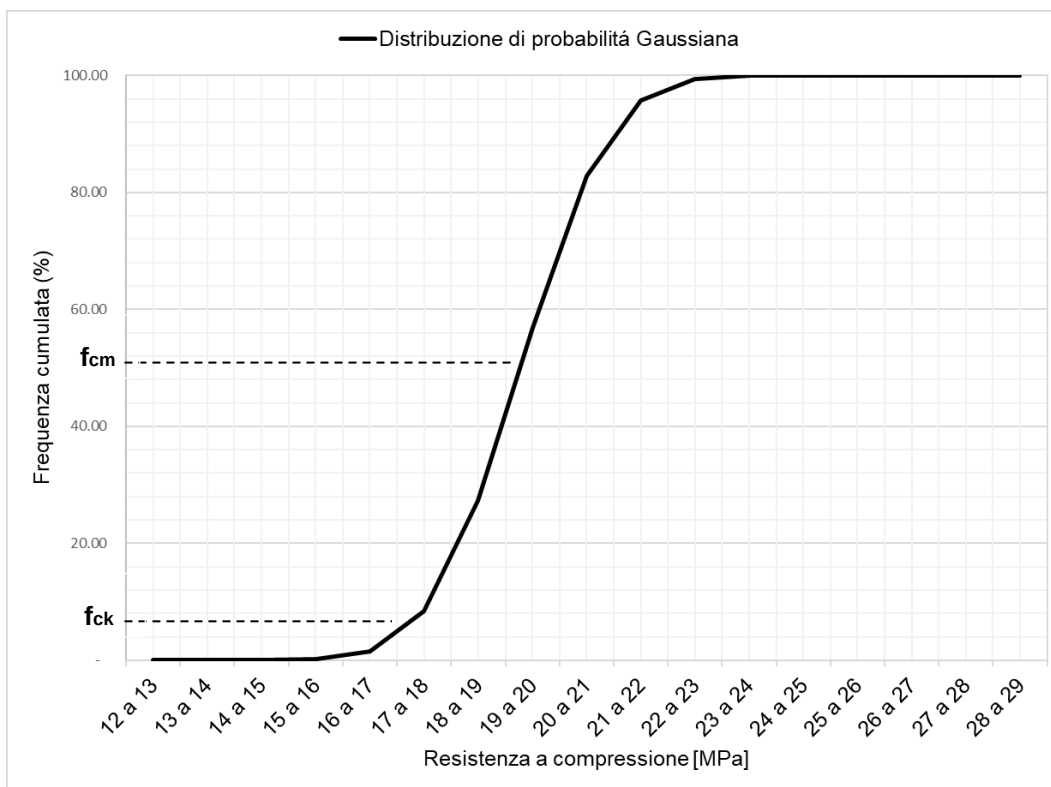


Figura 6: Risultati indagini: elaborazione statistica dei provini testati a compressione – distribuzione cumulata.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 18 di 53

In **Figura 5** si evidenzia la buona omogeneità dei risultati dei provini che si traduce in un basso scarto quadratico della distribuzione normale utilizzata per elaborare i dati sperimentali. La stessa densità di probabilità è rappresentata in **Figura 6** sotto forma di frequenza cumulata. Ciò permette di definire la resistenza media, $f_{cm}=19.25$ MPa e una resistenza caratteristica con frattile del 5%, $f_{ck}=17$ MPa.

La resistenza a compressione di progetto è stata stimata facendo riferimento alla Circolare 2019 alle NTC 2018 [11]. Il valore della resistenza a compressione media ottenuto dalle indagini in situ è ridotto attraverso un fattore di confidenza (FS) definito in base al Livello Di Conoscenza (LC) della struttura:

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC}$$

dove:

- f_{cm} = resistenza a compressione media in situ (19.25 MPa)
- γ_c coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo (1.5)
- FC fattore di confidenza, assunto pari a 1.2 per un livello di conoscenza LC2 [11]

Si ottiene pertanto una resistenza di progetto a compressione pari a $f_{cd} = 10.69$ MPa.

Il valore della massa volumica è ottenuto da letteratura per applicazione di un principio di similitudine, come meglio indicato nel rapporto di indagini ISMES (1989) [1], paragrafo 2.3.2.2 che recita:

“Per la definizione del peso specifico della muratura da adottare in sede di verifica, sono state determinate le percentuali di conglomerato e di pietrame analizzando le fotografie delle casse delle carote ottenute dai sondaggi e misurando le lunghezze dei diversi materiali”.

I risultati sono riportati di seguito:

	γ apparente	γ reale	Distribuzione su carote
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	%
Conglomerato	21.6	22.7	0.65
Pietrame/Roccia	-	27,6	0.35
Muratura	γ [kN/m ³]		24,41

Tabella 1: Risultati indagini ISMES (1989) [1].

Nell'ambito delle indagini richieste da Lombardi SA è stato possibile ricavare la massa volumica apparente del solo conglomerato, che assume un valore medio $\gamma_{app}=22.45$ kN/m³. Considerando una percentuale di vuoti del 5%, in accordo a quanto indicato nel documento [1], si ottiene la massa volumica reale $\gamma_{reale}=23.57$ kN/m³.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104	
		Data 07/03/2023	
		Pagina 19 di 53	

Si osserva come la massa volumica ottenuta per il solo conglomerato cementizio risulti maggiore di quella delle indagini ISMES mostrata in **Tabella 1** (conglomerato+muratura); pertanto, a favore di sicurezza, si procederà a realizzare il modello di calcolo utilizzando il peso specifico ricavato dalle indagini ISMES (1989) [1], e pari a 24.41 kN/m³.

4.1.2 Parametri di progetto

Ai fini delle verifiche delle tensioni nella muratura della diga sono state assunte la seguenti caratteristiche:

– Massa volumica	24.4 kN/m ³
– Modulo elastico	17.75 GPa
– Resistenza caratteristica alla compressione	17 MPa
– Resistenza alla compressione di progetto	10.69 MPa
– Resistenza alla trazione	0.00 MPa

4.2 Acciaio

La struttura del guscio di tenuta si considera realizzata in acciaio strutturale delle seguenti caratteristiche:

– Classe di acciaio	S355		
– Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	510	N/mm ²
– Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	355	N/mm ²
– Modulo di elasticità	E_s	210'000	N/mm ²

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 20 di 53

5. ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO

5.1 Peso proprio

L'azione dovuta al peso proprio della struttura è stata calcolata considerando un acciaio di tipo S355 che presenta un peso specifico di 78.50 kN/m³.

5.2 Spinta idrostatica

La spinta idrostatica dell'acqua, agente sempre ortogonalmente all'elemento di contenimento, è stata valutata considerando un peso di volume dell'acqua invasata pari a $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$ e assumendo cautelativamente il livello di esercizio del serbatoio definito dall'attuale Piano di Laminazione, corrispondente alla quota 162.00 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.

Considerando che la parte superiore del guscio in progetto si trova alla quota di 129.7 m s.l.m., quest'ultimo sarà soggetto ad una pressione agente (metri di colonna d'acqua) variabile, nel caso di livello costante pari a 162.00 m s.l.m, tra i seguenti valori:

- $p_1 = 32.30 \text{ m.c.a.}$ (generatrice superiore ellisse)
- $p_2 = 36.90 \text{ m.c.a.}$ (generatrice inferiore ellisse)

5.3 Combinazioni di calcolo

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 la fase di esercizio della struttura di tenuta. A fini delle verifiche dei vari stati limite si definiscono 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 quasi permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 21 di 53

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

Nelle precedenti espressioni si definiscono i seguenti tipi di azioni:

- a) **Permanenti (G):** le azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della struttura 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.
- b) **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 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).

Nel caso in questione, pertanto, si considerano i seguenti scenari di calcolo (vedi **Tabella 2**):

- C1. Serbatoio pieno, con livello alla minima regolazione (SLU Fondamentale)
- C2. Serbatoio pieno, con livello corrispondente ad una piena in ingresso al serbatoio con tempo di ritorno di 50 anni (SLU Eccezionale)
- C3. Serbatoio pieno, con livello alla minima regolazione (SLE-Quasi permanente)

Carico		SLU Minima regolazione	SLE Minima regolazione
G1	Peso proprio	1.30	1.00
G2	Spinta idrostatica	1.50	1.00
Combinazione		C1	C2

Tabella 2: Combinazioni di carico in analisi.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 22 di 53

6. STRUMENTI ANALITICI DI CALCOLO

6.1 Criteri e metodologie adottati per le verifiche

Al fine di poter analizzare il comportamento del guscio si è proceduto all'elaborazione di un modello tridimensionale ad elementi finiti, così come descritto nel seguito del presente capitolo. Gli strumenti analitici di calcolo strutturale sono stati utilizzati per:

- verificare le condizioni di stabilità locale della paratia;
- verificare le condizioni tensionali della paratia;
- verificare i principali collegamenti;
- verificare le pressioni di contatto sulla muratura esistente.

Strumento principale per l'analisi comportamentale è la modellazione 3D della paratia, ottenuta mediante l'impiego del programma agli elementi finiti MIDAS GEN. Quest'ultimo ha permesso di valutare le sollecitazioni in corrispondenza delle combinazioni di carico in analisi e poter dunque effettuare la verifica preliminare della struttura e dei relativi collegamenti.

6.2 Modello di calcolo

Il guscio è stato calcolato mediante lo sviluppo di un modello FEM 3D con elementi tipo “plate”, considerando la geometria descritta nel paragrafo 3.2 ed una mesh di calcolo di dimensione media 10x10 cm e spessore 18 mm. Sulla frontiera del modello, ossia in prossimità del contatto tra guscio e paramento della diga, è stata considerata una condizione di appoggio semplice modellata mediante l'inserimento di cerniere.

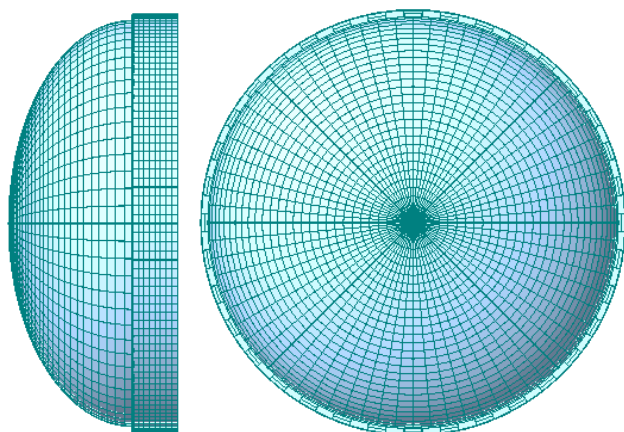


Figura 7. Modello di calcolo FEM della paratia di contenimento.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 23 di 53

7. VERIFICA DELLA PARATIA DI CONTENIMENTO

7.1 Generalità

Nel presente capitolo si riporta la verifica di stabilità locale del guscio, eseguita in funzione dei risultati della modellazione di calcolo. All'interno del capito si è deciso di riportare unicamente la verifica di stabilità poiché all'essere quest'ultima verificata risulta soddisfatta anche la verifica di resistenza.

La resistenza all'imbozzamento della lamiera metallica costituente il guscio è stata calcolata senza considerare, in questa fase preliminare di progetto, possibili elementi irrigidenti esterni posti sulla superficie della struttura.

7.2 Verifica di stabilità locale

La stabilità locale viene verificata in accordo alle raccomandazioni riportate nella Sezione 10 dell'EC3 - Parte1.5, [13], con particolare riferimento al metodo di riduzione delle tensioni. Nel caso di elementi non irrigiditi soggetti ad uno stato tensionale $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{z,Ed}$, $\tau_{x,Ed}$ deve essere soddisfatta, per la verifica all'imbozzamento, la seguente relazione:

$$\frac{\rho \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1$$

dove:

$\alpha_{ult,k}$ fattore di amplificazione del carico di progetto per raggiungere i valori caratteristici di resistenza

ρ fattore di riduzione dipendente della snellezza della lamiera $\bar{\lambda}_p$

γ_{M1} fattore parziale di resistenza, 1.05 da NTC18 [10]

La snellezza ed il fattore di riduzione possono essere calcolati secondo le seguenti espressioni:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.188}{\bar{\lambda}_p^2}$$

dove:

α_{cr} fattore di amplificazione del carico di progetto per raggiungere i valori critici elastici.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 24 di 53

I fattori di amplificazione del carico, lungo le tre direzioni, possono essere calcolati come mostrato in seguito:

$$\frac{1}{\alpha_{ult,k}^2} = \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y} \right) \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right)^2$$

$$\frac{1}{\alpha_{cr}} = \frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \frac{1 + \psi_z}{4\alpha_{cr,z}} + \left[\left(\frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \frac{1 + \psi_z}{4\alpha_{cr,z}} \right)^2 + \frac{1 - \psi_x}{2\alpha_{cr,x}^2} + \frac{1 - \psi_z}{2\alpha_{cr,z}^2} + \frac{1}{\alpha_{cr,\tau}^2} \right]^{1/2}$$

dove:

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,y}}{\sigma_{y,Ed}}$$

$$\alpha_{cr,z} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}}$$

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\sigma_{cr,\tau}}{\sigma_{\tau,Ed}}$$

$\sigma_{cr,i}$

Tensione critica di imbozzamento di Eulero

$E = 210'000 \text{ MPa}$

Modulo elastico acciaio

$t = 18 \text{ mm}$

Spessore dell'acciaio

$\nu = 0.30$

Coefficiente di Poisson

r

raggio di analisi (v. **Figura 8**),

Dato che l'EC 3 [13] fornisce esclusivamente l'espressione per il calcolo della tensione critica di Eulero nel caso di piastre piane rettangolari, relativamente alla verifica del guscio in analisi è stata considerata la tensione di imbozzamento critica di un contenitore sferico, calcolata mediante la seguente formula (rif. [16]):

$$\sigma_{cr,i} = 0.125 \frac{E \cdot t}{r} \text{ per } \nu = 0.30$$

Per il calcolo della tensione d'imbozzamento è stato assunto conservativamente, come valore di r nella precedente formula, il maggiore degli assi della semiellisse costituente il guscio.

Le tensioni radiali e tangenziali in prossimità dei lembi estremi del guscio e definite attraverso il modello di calcolo si riassumono in **Tabella 3**.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 25 di 53

Tensione	Lembo superiore [MPa]	Lembo inferiore [MPa]
$\sigma_{y,Ed}$ (radiale)	-69.50	-19.50
$\sigma_{x,Ed}$ (tangeziale)	-62.30	-47.80
T_{Ed}	1.86	1.51

Tabella 3. Tensioni massime di compressione agenti sul guscio - Combinazione di carico SLU.

In **Figura 8** si rappresentano, per una maggior chiarezza, le direzioni delle tensioni agenti ($\sigma_{x,Ed}$ in rosso e $\sigma_{y,Ed}$ in verde). Maggiori dettagli relativamente al calcolo delle tensioni sono riportati nell'**Allegato A**.

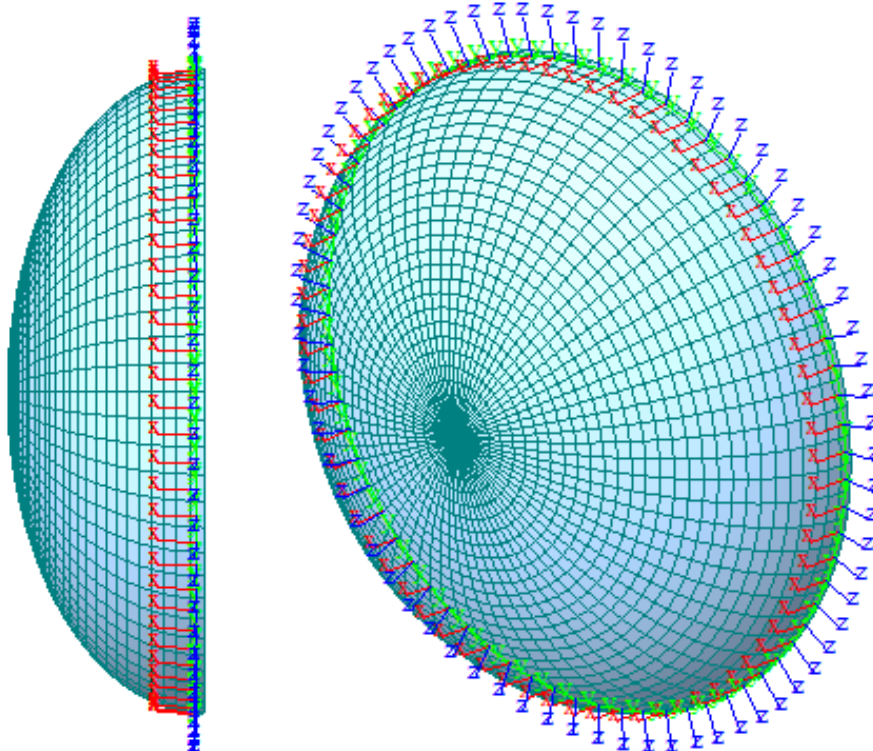


Figura 8. Rappresentazione delle tensioni radiali e tangenziali in prossimità dei lembi estremi del guscio.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 26 di 53

Il calcolo della tensione critica di imbozzamento per unità di lunghezza, effettuato secondo le prescrizioni di [16], si riassume in **Tabella 4**.

Parametro	Grandezza
f_y	355 MPa
γ_{M1}	1.05
E	210'000 MPa
t	18 mm
ν	0.3
r	2'300 mm
$\sigma_{cr,xz}$	205.68 MPa

Tabella 4. Calcolo tensione critica d'imbozzamento.

La verifica di stabilità del guscio, come mostrato in **Tabella 5**, risulta soddisfatta.

Parametro	Grandezza
σ_{yy}/f_y	0.20
σ_{xx}/f_y	0.18
σ_{τ}/f_y	0.01
$\alpha_{ult,k}$	5.36
$\alpha_{cr,x}$	2.96
$\alpha_{cr,z}$	3.30
$\alpha_{cr,T}$	1100.58
ψ_y	0.28
ψ_x	0.77
α_{cr}	1.74
λ_p	1.75
ρ	0.51
$\rho \alpha_{ult,k} / \gamma_{M1}$	2.60 ✓

Tabella 5. Verifica di stabilità locale della paratia.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 27 di 53

8. VERIFICA ANELLO DI COLLEGAMENTO

8.1 Generalità

Come descritto in precedenza, l'elemento di connessione tra il guscio ellittico di contenimento e la muratura della diga è costituito da due tubi di diametro rispettivamente 4.45 m e 4.75 m, collegati fra loro mediante piastre di irrigidimento disposte a passo 0.40 m. Lo spessore degli elementi formanti l'anello è assunto costante e pari a 15 mm.

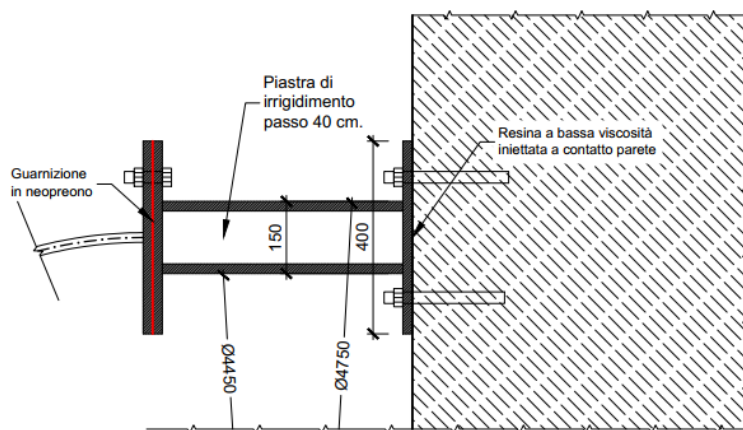


Figura 9. Sezione trasversale dell'anello di collegamento.

Al contatto tra le lamiere costituenti il collegamento flangiato tra il guscio e l'anello si prevede l'inserimento di una guarnizione in neoprene, mentre tra la piastra di base e la parete della diga verranno eseguite iniezioni a pressione con resine a bassa viscosità. Le caratteristiche della guarnizione e le specifiche delle resine da iniettare dovranno essere fornite dal fornitore specializzato.

8.2 Verifica di resistenza

La verifica di resistenza viene effettuata in accordo alla sezione 4.2.4.1.2 delle NTC2018 [10]:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{y,Ed} + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk}/\gamma_{M0})^2$$

dove:

$\sigma_{x,Ed}$ valore di progetto della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione parallela all'asse della membratura

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104	
		Data 07/03/2023	
		Pagina 28 di 53	

$\sigma_{y,Ed}$ valore di progetto della tensione normale nel punto in esame, agente in direzione ortogonale all'asse della membratura

τ_{Ed} valore di progetto della tensione tangenziale nel punto in esame, agente nel piano della sezione della membratura

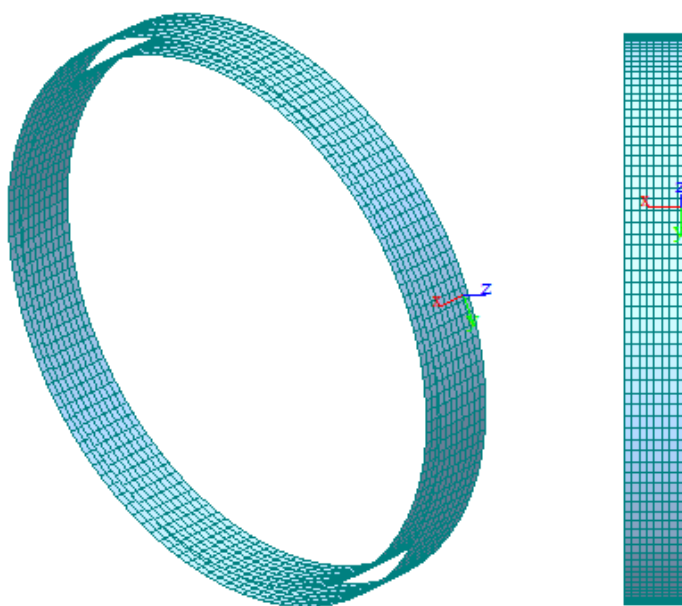


Figura 10: Rappresentazione delle tensioni radiali e tangenziali nell'anello di collegamento ($\sigma_{x,Ed}$ in rosso e $\sigma_{y,Ed}$ in verde).

I risultati della verifica di resistenza dell'anello si riassumono in **Tabella 6**. Maggiori dettagli relativamente ai calcoli effettuati sono riportati nell' **Allegato B**.

Involuppo	σ_x [MPa]	σ_z [MPa]	τ [MPa]	f_{yk}/γ_{M0}	σ_{eff} [MPa]
σ_x min	-70.90	-22.50	7.53	338.10	64.09 ✓
σ_x max	41.20	41.30	-12.70	338.10	46.75 ✓
σ_y min	-16.00	-59.70	30.90	338.10	75.69 ✓
σ_y max	4.64	55.30	0.16	338.10	53.13 ✓
T_{min}	-11.10	-7.55	-26.90	338.10	47.62 ✓
T_{max}	-16.60	-59.40	31.00	338.10	75.50 ✓

Tabella 6. Verifica di resistenza dell'anello di collegamento ("-" compressione).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104	
		Data 07/03/2023	
		Pagina 29 di 53	

Come è possibile osservare, la verifica di resistenza dell'anello risulta soddisfatta. Relativamente alla stabilità locale dell'elemento, la predisposizione di robusti irrigidimenti ogni 40 cm esclude la manifestazione di fenomeni d'imbozzamento della lamiera. Per questo motivo, in questa fase preliminare di calcolo, si è ritenuto opportuno non presentare, per l'anello di collegamento, i dettagli di tale verifica.

8.3 Verifica degli irrigidimenti

I risultati della verifica di resistenza degli irrigidimenti si riassumono in **Tabella 7**. Come è possibile osservare la verifica risulta soddisfatta, essendo la tensione massima pari a 127.55 MPa minore rispetto al valore ammissibile di 338.10 MPa.

Involuppo	σ_x [MPa]	σ_z [MPa]	τ [MPa]	f_{yk}/γ_{M0}	σ_{eff} [MPa]
σ_x min	-255.00	-159.00	2.94	338.10	223.13 ✓
σ_x max	41.20	41.30	-12.70	338.10	46.75 ✓
σ_y min	-255.00	-159.00	2.94	338.10	223.13 ✓
σ_y max	-136.00	87.20	0.63	338.10	194.83 ✓
T_{min}	-95.40	-58.60	-77.30	338.10	157.70 ✓
T_{max}	-92.00	-60.40	87.60	338.10	171.98 ✓

Tabella 7. Verifica di resistenza degli irrigidimenti dell'anello di collegamento ("-" compressione).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 30 di 53

9. VERIFICA PIASTRA DI CONNESSIONE

9.1 Generalità

Come descritto in precedenza, alle estremità dell'anello di collegamento si prevede la presenza di due flange saldate che avranno la funzione di realizzare da un lato, il collegamento con il guscio, e dall'altro il fissaggio dell'intera struttura al paramento della diga.

Il dimensionamento delle piastre di connessione, indicate nei riquadri rossi in **Figura 11**, è stato effettuato in funzione delle reazioni vincolari ottenute dalla simulazione di calcolo. Ulteriori dettagli rispetto la distribuzione delle reazioni sono mostrati nell' **Allegato C**.

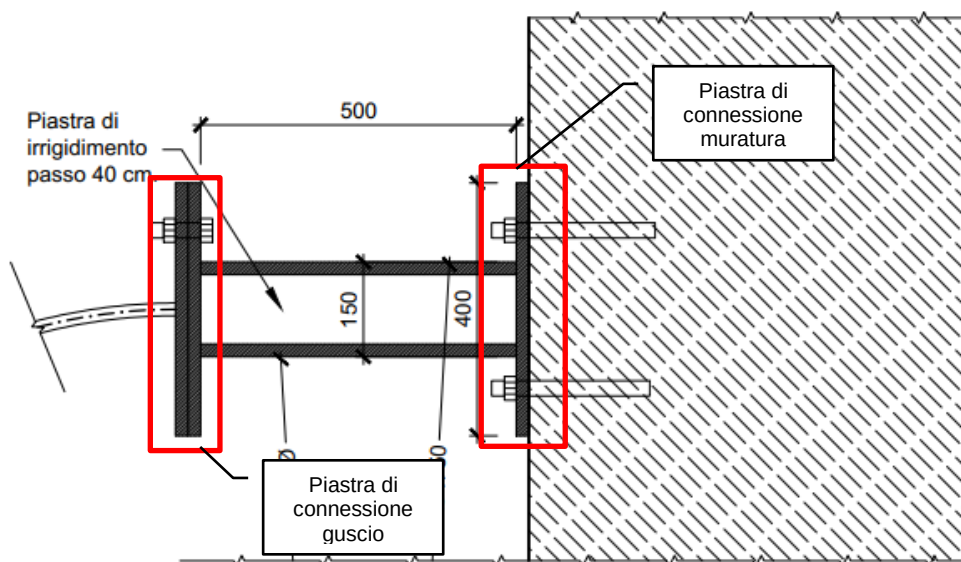


Figura 11. Dettaglio delle piastre di connessione tra paratia, anello di collegamento e corpo diga.

9.2 Verifica di resistenza bulloni e piastra

Le verifiche da effettuare per le unioni bullonate, in accordo con le NTC2018 [10], sono le seguenti:

- Taglio nei bulloni:

$$F_{v,Rd} = 0.6 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2}$$

- Rifollamento della lamiera:

$$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$$

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 31 di 53

dove:

f_{tbk}	resistenza caratteristica a rottura del bullone
A_{res}	area resistente del bullone
γ_{M2}	coefficiente di sicurezza, 1.25
d	diametro nominale del gambo del bullone
t	spessore della piastra collegata
f_{tk}	resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata
k	minimo tra $\{1.4 p_2/d_0-1.7; 2.5\}$
α	minimo tra $\{e_1/3d_0; f_{tbk}/f_{tk}; 1\}$ per i bulloni dell'anello interno minimo tra $\{p_1/3d_0-0.25; f_{tbk}/f_{tk}; 1\}$ per i bulloni dell'anello esterno

I parametri geometrici e_1, p_1, p_2, d_0 sono mostrati in **Figura 12**.

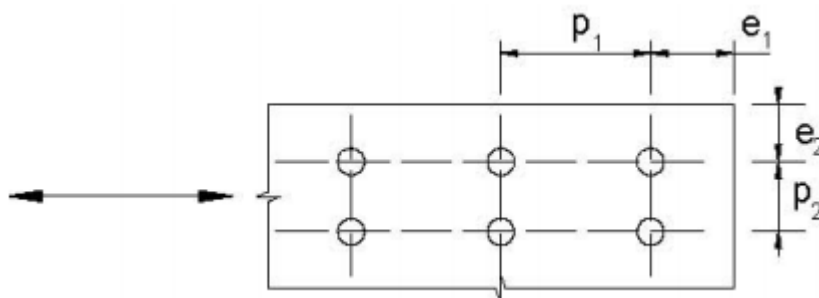


Figura 12. Disposizioni dei fori nel caso di unioni bullonate.

La distribuzione dei bulloni nelle flange di collegamento si prevede secondo la seguente configurazione:

- piastra di connessione con muratura: disposizione lungo due anelli, uno interno ed uno esterno, ciascuno dei quali caratterizzato da un totale di 30 bulloni disposti radialmente e a passo costante (v. **Figura 13**);
- piastre di connessione guscio-anello: disposizione lungo un anello esterno caratterizzato da un totale di 30 bulloni disposti radialmente e a passo costante (v. **Figura 13**).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 32 di 53

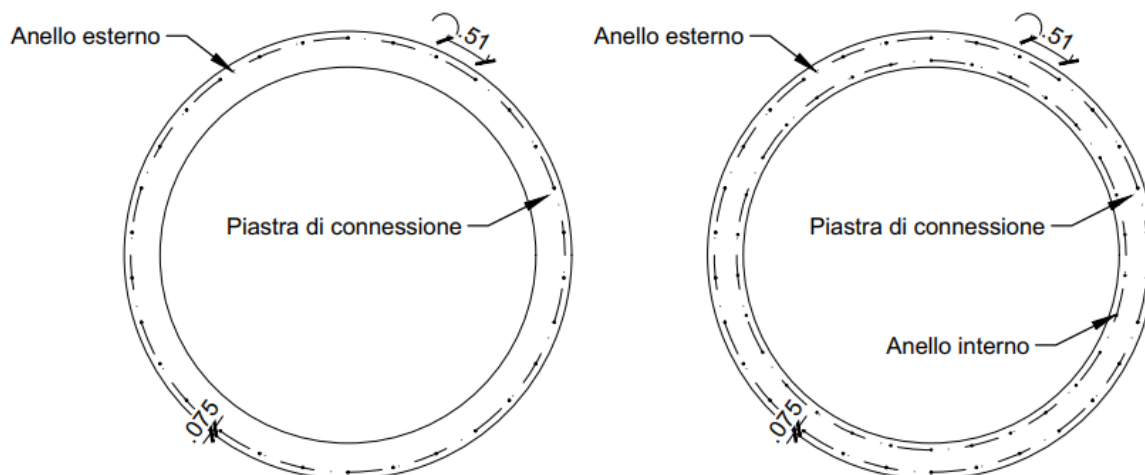


Figura 13. Sinistra: Ubicazione di bulloni nella flangia di connessione tra anello di collegamento e guscio. Destra: Ubicazione di bulloni nella flangia di connessione tra anello di collegamento e muratura.

Le reazioni risultanti su ciascun anello di distribuzione dei bulloni sono riportate in **Tabella 8**:

Bulloni	Forza radiale [kN]	Forza normale alla muratura [kN]	Forza tangenziale [kN]
Anello interno	235.24	-4'581.0	-

Tabella 8. Reazioni vincolari per la combinazione SLU.

A vantaggio di sicurezza il dimensionamento delle unioni è stato condotto considerando la distribuzione dei bulloni in prossimità del collegamento fra guscio ed anello. Assumendo dunque un totale di 30 bulloni, le sollecitazioni massime agenti sul singolo elemento di connessione sono quelle riassunte in **Tabella 9**:

Bulloni	Forza radiale [kN]	Forza normale alla muratura [kN]	Forza tangenziale [kN]
Anello interno	7.84	-152.70	-

Tabella 9. Massime sollecitazioni SLU sul singolo bullone.

Le verifiche a taglio dei bulloni e a rifollamento della lamiera sono state condotte in direzione radiale. Considerando dei bulloni tipo M20, classe 8.8 (senza precompressione) ed una piastra di collegamento di spessore 18 mm, le resistenze a taglio e a rifollamento di progetto sono indicate nelle seguenti tabelle:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 33 di 53

f_{tbk} [MPa]	A_{res} [mm ²]	γ_{M2} [-]	$F_{v,Rd}$ [kN]
800	245	1.25	94.08

Tabella 10. Taglio resistente del singolo bullone.

f_{tk} [MPa]	t [mm]	d [mm]	d_0 [mm]	$\alpha_{esterno}$	γ_{M2} [-]	$F_{b,Rd}$ [kN]
510	18	20	22	1	1.25	367.2

Tabella 11. Resistenza a rifollamento della lamiera della piastra di connessione.

Poiché lo sforzo massimo agente sul bullone è pari a 7.84 kN (v. **Tabella 9**), la verifica a taglio del bullone e a rifollamento della piastra risultano soddisfatte.

Si sottolinea che ai bulloni è affidata la compressione dell'elemento di tenuta elastico fra le flange costituenti il collegamento fra guscio e anello. Per questo motivo l'impresa specialistica dovrà provvedere ad eseguire un adeguato serraggio dei bulloni con chiave dinamometrica al fine di evitare che questi ultimi si allentino (per inversione delle sollecitazioni) sotto l'ulteriore compressione elastica della guarnizione in neoprene dovuta alla pressione idrostatica.

In questa fase preliminare di calcolo si è ritenuto opportuno non procedere alla verifica delle possibili saldature tra i vari elementi strutturali che compongono l'intera paratia di contenimento. Tali calcoli dovranno essere effettuati nella fase di progettazione esecutiva e saranno a carico dell'impresa specializzata.

9.3 Verifica di resistenza locale della muratura

La verifica di resistenza locale della muratura della diga nell'area in cui verrà collocata la paratoia di contenimento è stata condotta considerando le seguenti modalità di rottura:

- Rottura a taglio del bordo libero della muratura.
- Pressione sulla muratura (punzonamento).

9.3.1 Rottura del bordo libero di muratura

La verifica della capacità a taglio del bordo libero della muratura viene eseguita in accordo con l'EC2 al paragrafo 2-4.4 [14]:

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \psi_{s,V} \psi_{h,V} \psi_{ec,V} \psi_{a,V} \psi_{re,V}}{\gamma_{Mc}}$$

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 34 di 53

dove:

$V_{Rk,c}^0 = 1.6 d_{nom}^{\alpha} l_f^{\beta} \sqrt{f_{ck,cube}} c_1^{1.5}$ Taglio caratteristico del bordo libero di muratura in condizione fessurata

$\alpha = 0.1 \left(\frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5}$ Coefficiente correttivo

$\beta = 0.1 \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2}$ Coefficiente correttivo

$f_{ck,cube}$ Resistenza a compressione caratteristica su provino cubico [MPa]

$c_1 = 487$ Distanza del lembo in direzione del taglio [mm]

$l_f = 200$ Lunghezza di inghisaggio del bullone nella muratura [mm]

$d_{nom} = 20$ Diametro nominale del bullone [mm]

$A_{c,v}^0$ Area proiettata [mm²] (v. **Figura 14**)

$A_{c,v}$ Area idealizzata della faglia a taglio [mm²]

$\psi_{s,v} = 1$ Coefficiente dipendente dalla distribuzione delle tensioni nel lembo

$\psi_{h,v} = 1$ Coefficiente dipendente dallo spessore del materiale

$\psi_{ec,v} = 1$ Coefficiente dall'eccentricità del carico

$\psi_{a,v} = 1$ Coefficiente dipendente dalla direzione del carico

$\psi_{re,v} = 1$ Coefficiente dipendente dall'ubicazione del bullone

$\gamma_{Mc} = 1.5$ Coefficiente parziale di resistenza sulla muratura

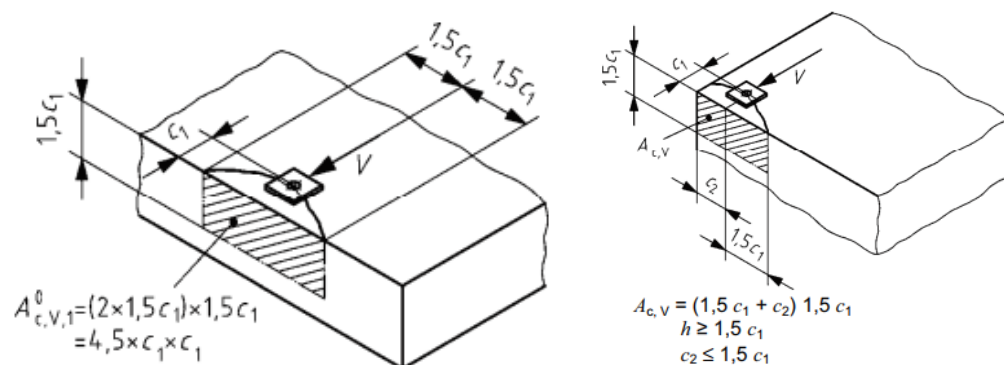


Figura 14: Meccanismo di rottura a taglio del bordo libero di muratura [14].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 35 di 53

Relativamente al collegamento della paratia alla muratura esistente, si raccomanda una profondità d'inghisaggio minima di 200 mm e l'utilizzo di ancoraggi tipo HILTI-HIT-RE 500 V4 (o equivalenti) o comunque tali da permettere l'applicazione in subacqueo e garantire le elevate prestazioni dei collegamenti.

Nella seguente tabella si riassume il calcolo eseguito per la stima del taglio caratteristico del bordo libero di muratura in condizione fessurata:

d_{nom} [mm]	l_f [mm]	c_1 [mm]	α [-]	β [-]	$f_{ck,cube}$ [MPa]	$V_{Rk,c}^0$ [kN]
20	200	487	0.064	0.020	20.48	104.98

Tabella 12. Calcolo taglio caratteristico della muratura in condizione fessurata.

Successivamente, nella seguente tabella si riporta il calcolo eseguito per la stima della resistenza a taglio del bordo libero della muratura:

$A_{c,v}^0$ [mm ²]	$A_{c,v}$ [mm ²]	$\psi_{s,v}$ [-]	$\psi_{h,v}$ [-]	$\psi_{ec,v}$ [-]	$\psi_{a,v}$ [-]	$\psi_{re,v}$ [-]	$V_{Rk,c}$ [kN]	γ_{Mc} [-]	$V_{Rd,c}$ [kN]
1'067'261	1'067'261	1	1	1	1	1	104.98	1.5	69.99

Tabella 13. Calcolo della resistenza a taglio del bordo libero di muratura.

Osservando le precedenti tabelle è possibile affermare che, essendo il taglio resistente della muratura 69.99 kN maggiore rispetto al taglio agente 7.84 kN, la verifica risulta soddisfatta.

9.3.2 Verifica a punzonamento della muratura

Il calcolo delle pressioni sulla muratura è affrontato nelle sezioni 6.2.5 e 6.2.8 dall'EC3 - Parte 1-8 [15]. La larghezza della zona compressa della muratura (v. **Figura 15**) si ottiene calcolando il valore "c" secondo la seguente espressione:

$$c = t \sqrt{f_{yk} / (3f_{jd}\gamma_{M0})}$$

dove:

c	Larghezza efficace in compressione [mm]
f_{yk}	Resistenza allo snervamento dell'acciaio della piastra [MPa]
f_{jd}	Tensione limite di contatto, solitamente $2/3 f_{cd}$
$\gamma_{M0} = 1.05$	Coefficiente parziale sulla resistenza

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 36 di 53

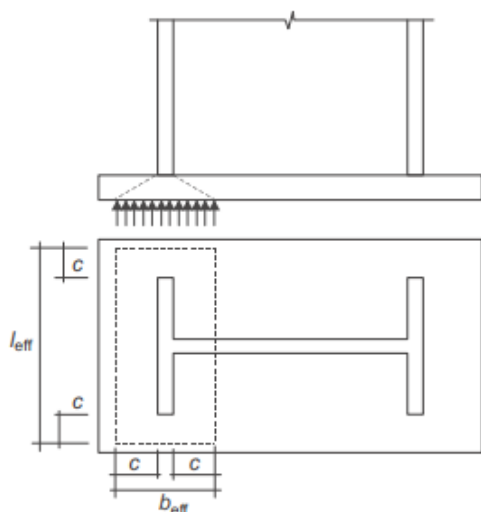


Figura 15. Area efficace in compressione da EC3 - Parte 1.8 [15].

La pressione esterna agente non deve superare la resistenza locale del materiale definita secondo la seguente equazione (rif. EC2 [12]):

$$F_{Rdu} = A_{c0} f_{cd} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_c}} \leq 3.0 f_{cd} A_{c0}$$

dove:

$A_{c0} = b_{eff} l_{eff}$ area caricata [mm²]

A_{c1} massima area di diffusione del carico utilizzata per il calcolo [mm²]

Il calcolo della larghezza efficace in compressione e la verifica a punzonamento della muratura sono riportate nelle seguenti tabelle.

f_y [MPa]	t [mm]	f_{jd} [MPa]	γ_{M0} [-]	c [mm]
355	15	7.13	1.05	59.6

Tabella 14. Calcolo larghezza critica c .

F_{Edu} [kN]	b_{eff} [mm]	l_{eff} [mm]	A_{c0} [mm ²]	A_{c1} [mm ²]	f_{cd} [MPa]	F_{Rdu} [kN]
190.27	134	1000	134'299	402'897	10.69	2'487

Tabella 15. Verifica a punzonamento muratura.

Dalla **Tabella 15** è possibile affermare che, essendo la pressione esterna agente, pari a 190.27 kN, inferiore rispetto alla resistenza a punzonamento della muratura esistente, pari a 2'487 kN, la verifica risulta soddisfatta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 37 di 53

10. 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. 27175 del 14/12/2020.

Scopo del presente rapporto è la verifica preliminare della paratia temporanea di contenimento necessaria per garantire l'esecuzione e la sicurezza dei lavori di ripristino dello scarico di fondo in progetto, che verranno eseguiti in presenza di un notevole battente idraulico.

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

- La struttura semiellittica del guscio, con spessore 18 mm, risulta verificata con un fattore di sicurezza allo imbozzamento di 4.3.
- L'anello di connessione fra guscio e muratura della diga, caratterizzato da spessore 18 mm e irrigidimenti ogni 0.40 m, risulta verificato.
- I collegamenti bullonati, realizzati mediante bulloni M20 classe 8.8, hanno una capacità sufficiente per trasmettere i carichi sia all'anello di collegamento che alla muratura della diga.
- La muratura della diga esistente risulta essere dotata di una resistenza a taglio e al punzonamento tale da sopportare le tensioni trasmesse dalla paratia di contenimento.

Si sottolinea che la progettazione ed i calcoli esecutivi del guscio di tenuta e dei relativi elementi di montaggio saranno a carico dell'impresa specializzata.

Si ritiene opportuno, inoltre, che il fornitore provveda ad eseguire in officina il collaudo della paratia di contenimento, considerando per la verifica una pressione statica sulla calotta pari ad 1.2-1.5 volte quella di esercizio. Il collaudo dovrà essere eseguito nel rispetto delle normative italiane e/o europee che regolano apparecchiature e recipienti in pressione.

Sulla base di queste ultime considerazioni, si invita l'impresa alla realizzazione di un Method Statement che, oltre alla definizione delle modalità costruttive e operative per la realizzazione e la posa in opera della paratia di contenimento, possa essere utilizzato come mezzo per controllare specifici rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone:	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
	Progetto di ripristino dello scarico di fondo	Data 07/03/2023
	<i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	Pagina 38 di 53

ALLEGATO A

Tensioni nel guscio di tenuta

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 39 di 53

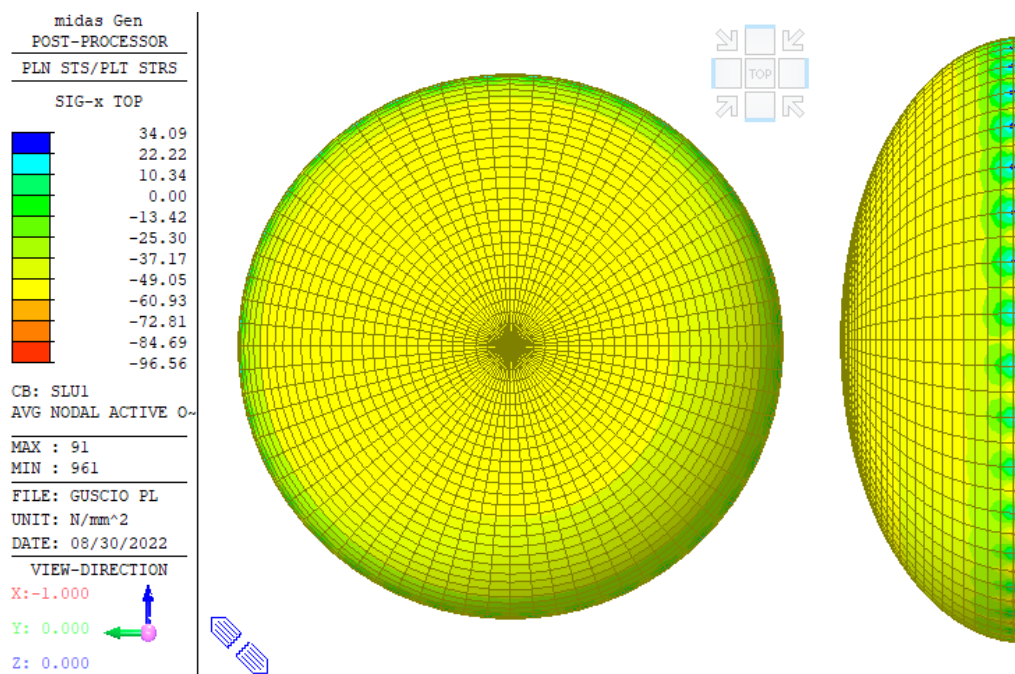


Figura 16: Tensioni radiali combinazione SLU - Fibre superiori [MPa].

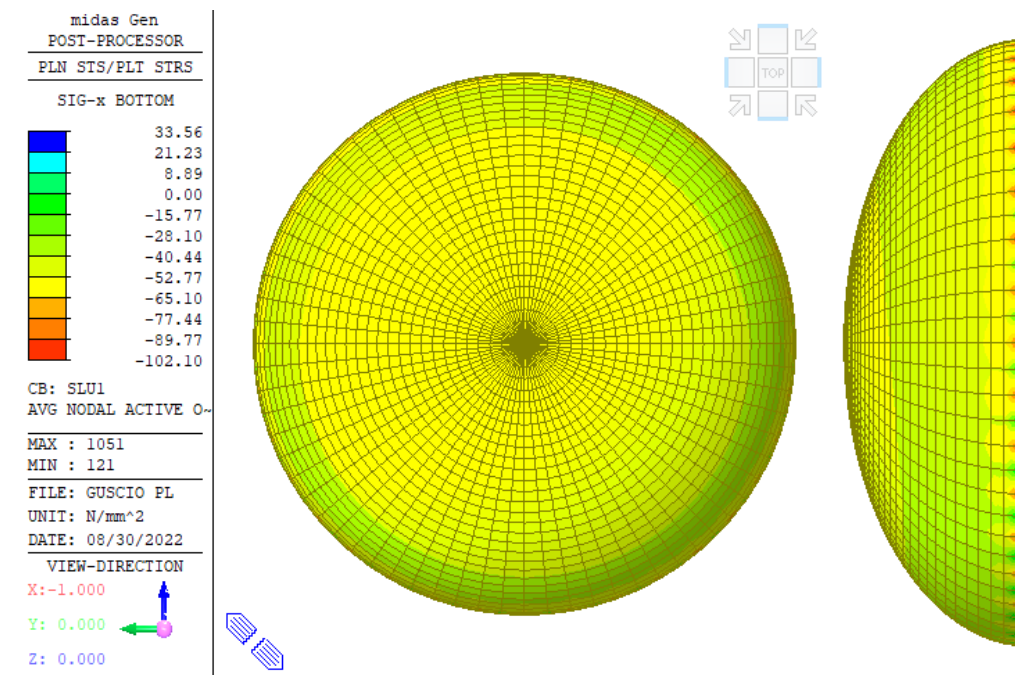


Figura 17: Tensioni radiali combinazione SLU - Fibre inferiore [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 40 di 53

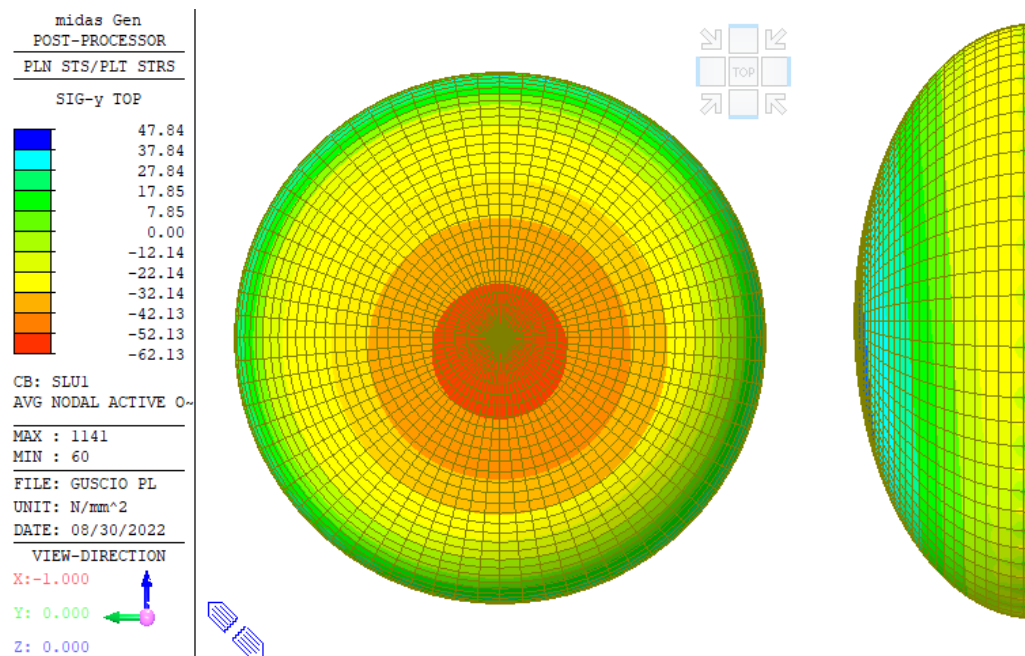


Figura 18: Tensioni tangenziali combinazione SLU - Fibre superiori [MPa].

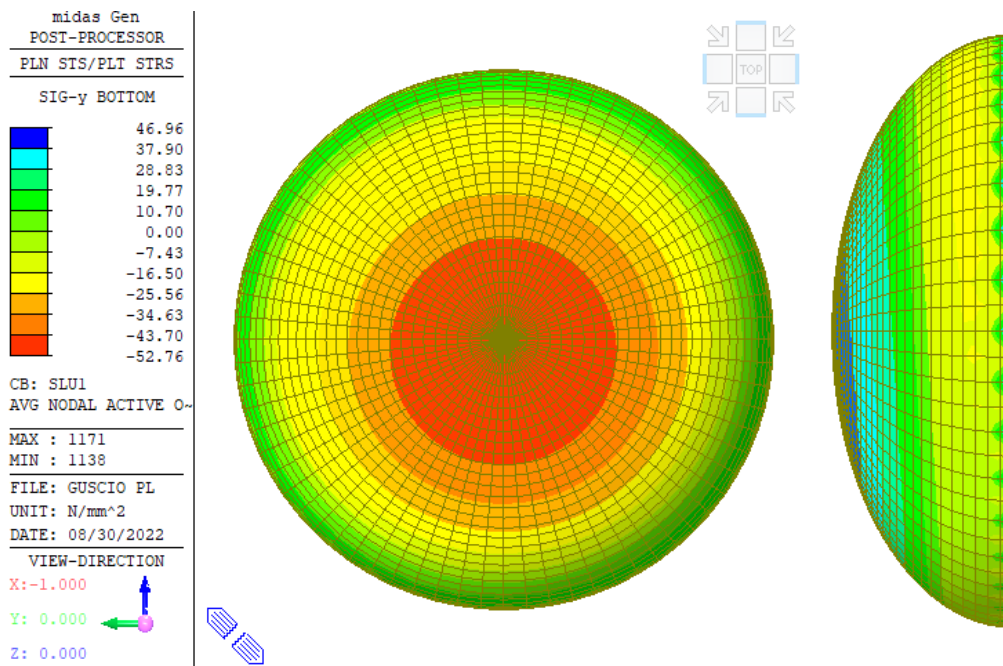


Figura 19: Tensioni tangenziali combinazione SLU - Fibre inferiori [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 41 di 53

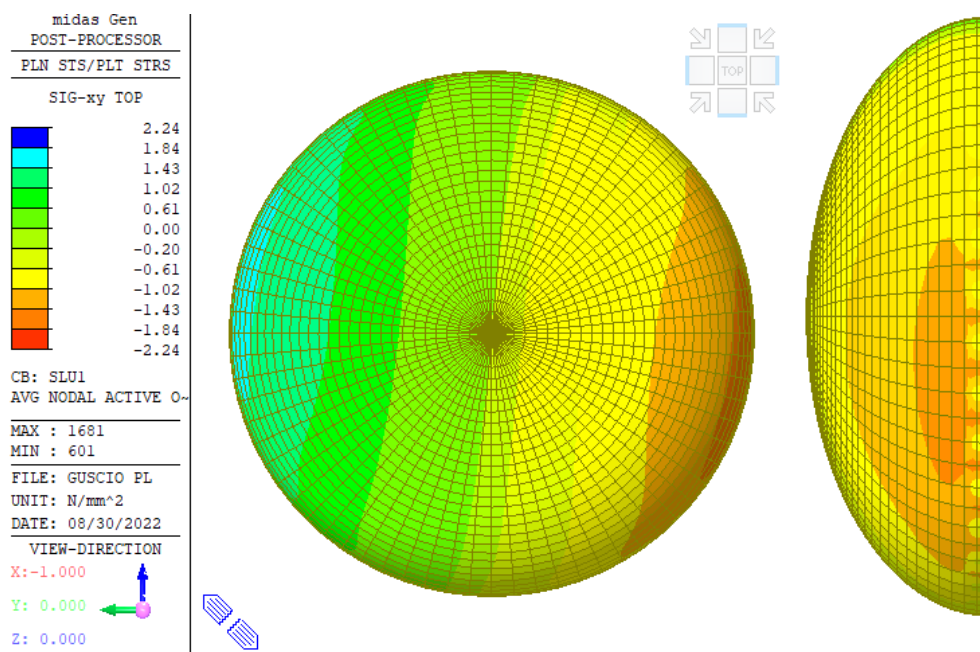


Figura 20: Tensioni di taglio combinazione SLU - Fibre superiori [MPa].

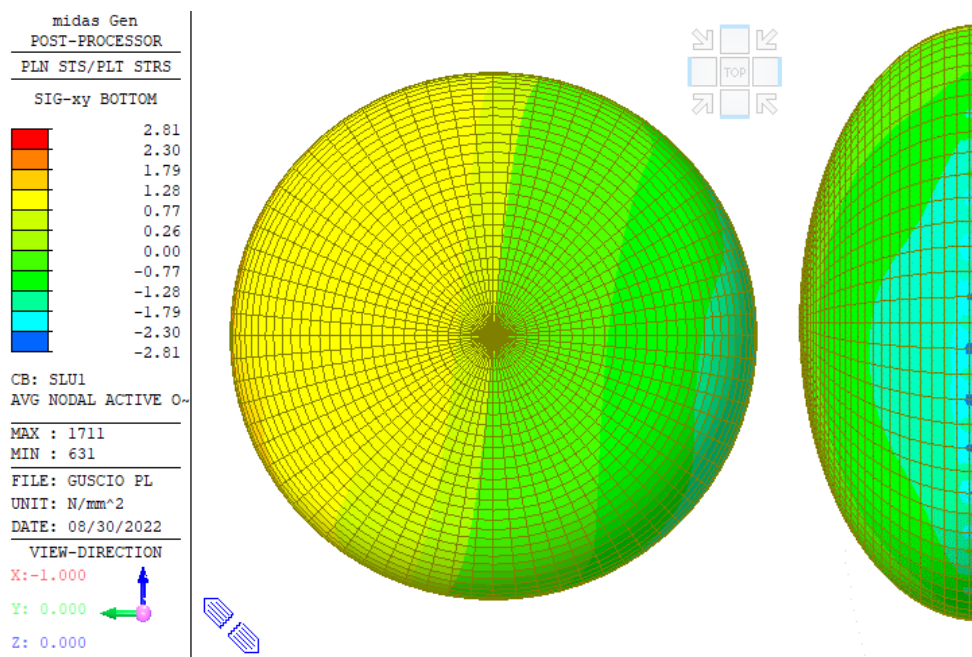


Figura 21: Tensioni di taglio combinazione SLU - Fibre inferiori [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01	
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104	
		Data 07/03/2023	
		Pagina 42 di 53	

ALLEGATO B

Tensioni nell'anello di collegamento

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 43 di 53

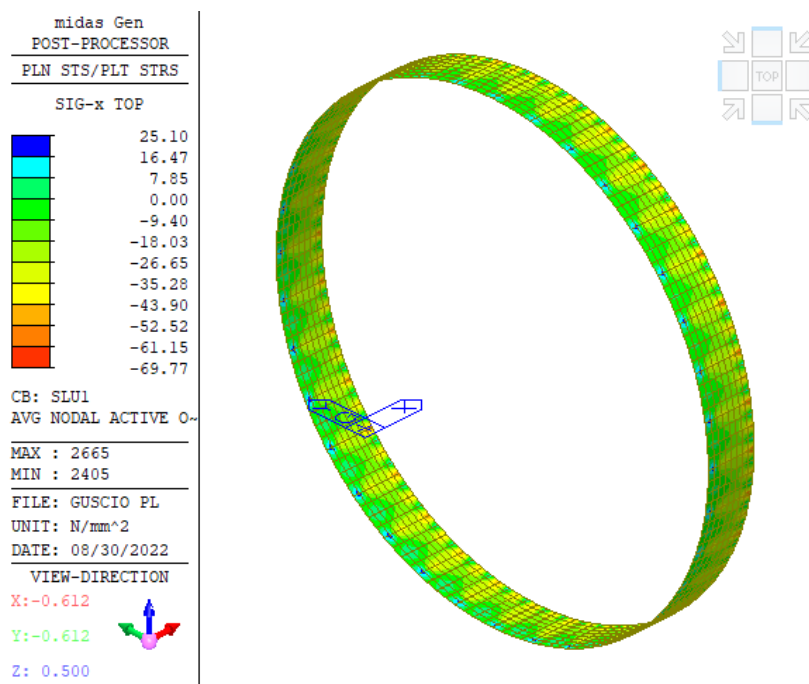


Figura 22: Tensioni normali combinazione SLU 1 – Fibre superiori anello esterno [MPa].

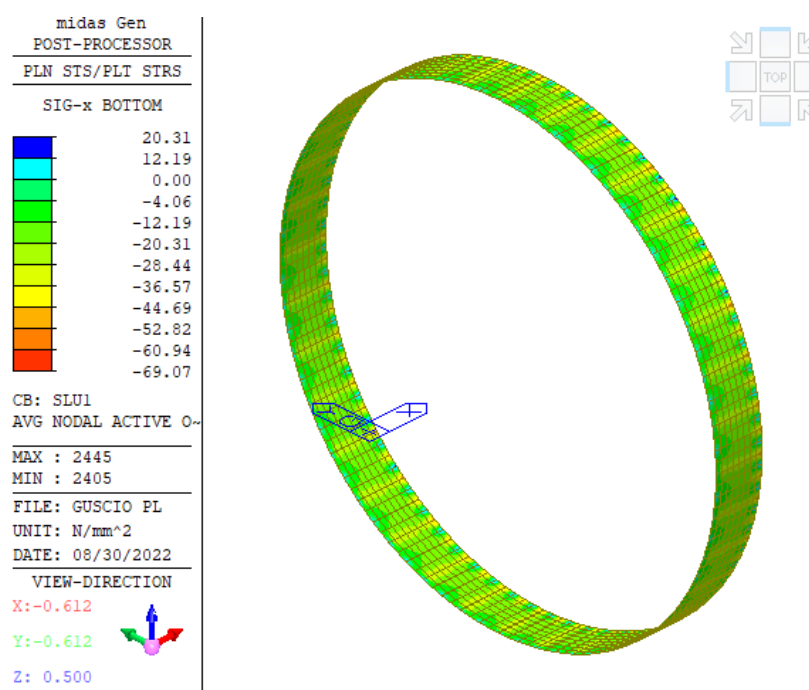


Figura 23: Tensioni normali combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello esterno [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 44 di 53

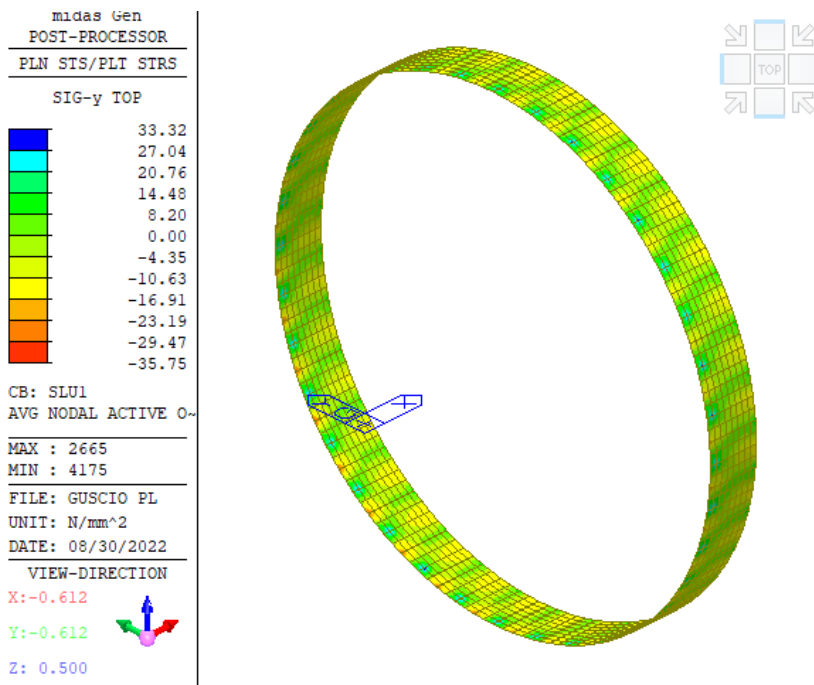


Figura 24: Tensioni tangenziali combinazione SLU 1 - Fibre superiori anello esterno [MPa].

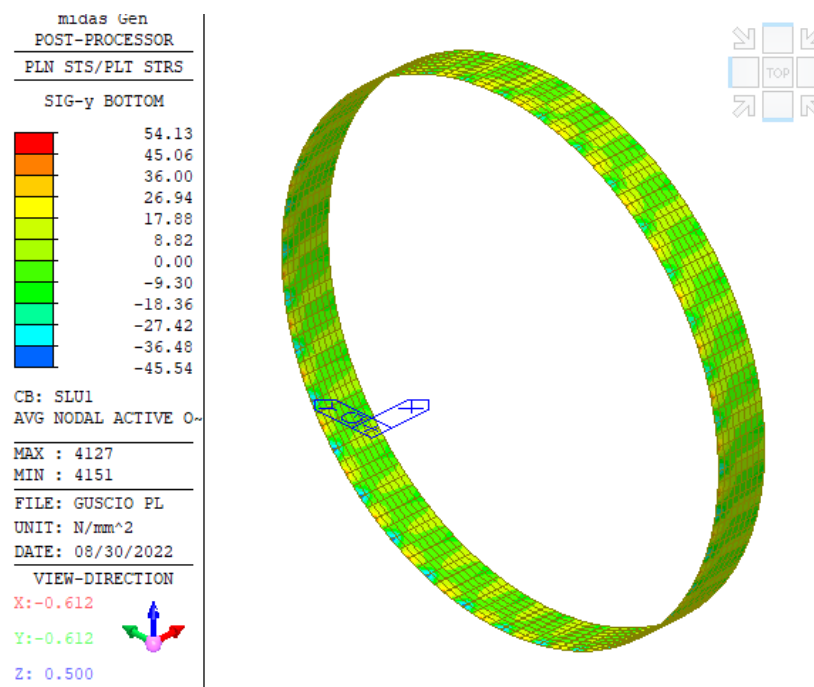


Figura 25: Tensioni tangenziali combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello esterno [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 45 di 53

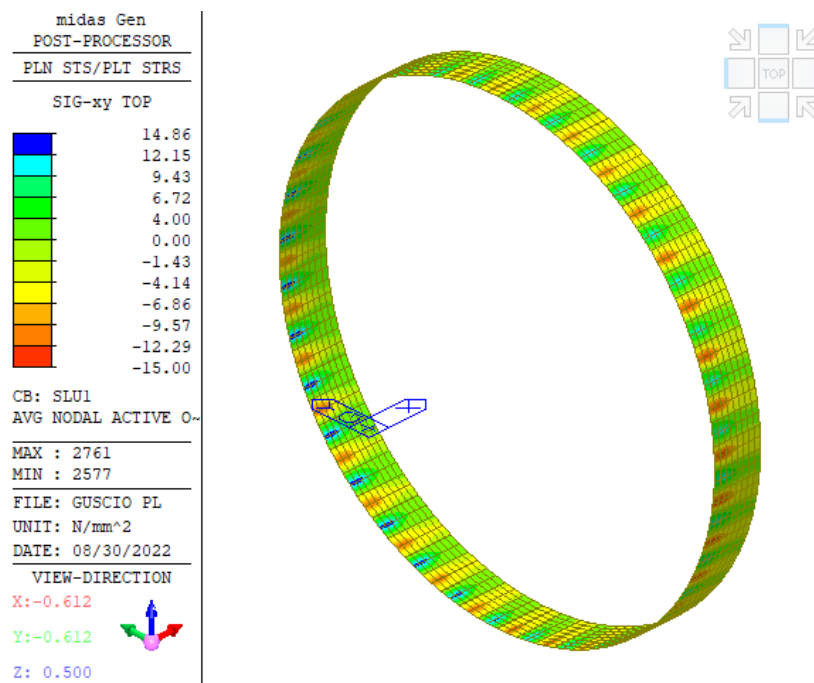


Figura 26: Tensioni di taglio combinazione SLU 1 - Fibre superiori anello esterno [MPa].

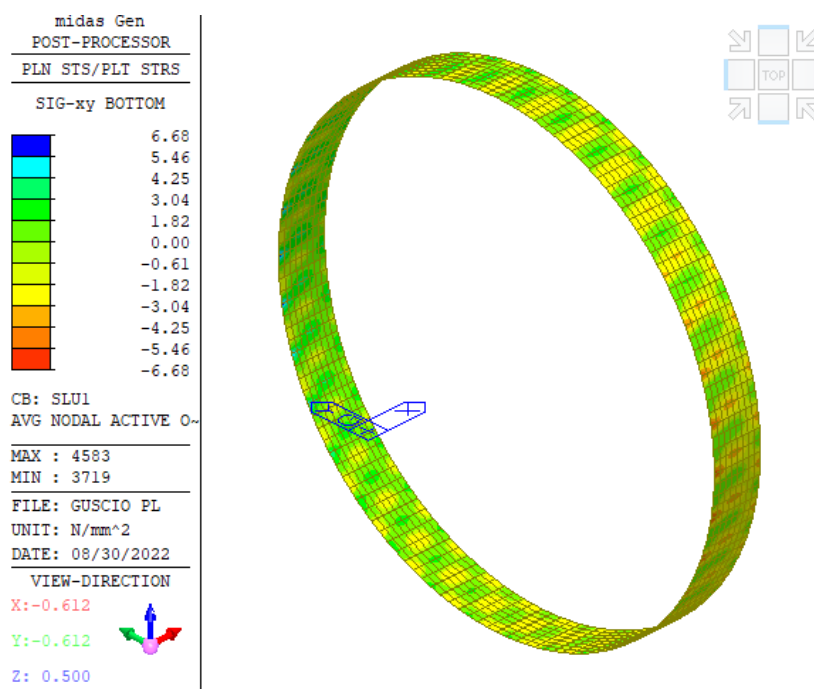


Figura 27: Tensioni di taglio combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello esterno [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 46 di 53

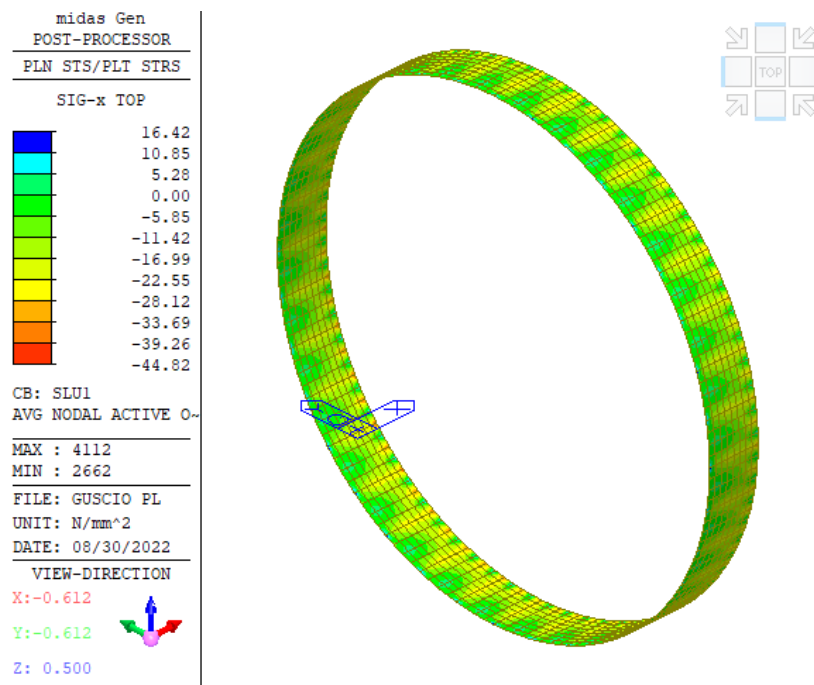


Figura 28: Tensioni normali combinazione SLU 1 - Fibre superiori anello interno [MPa].

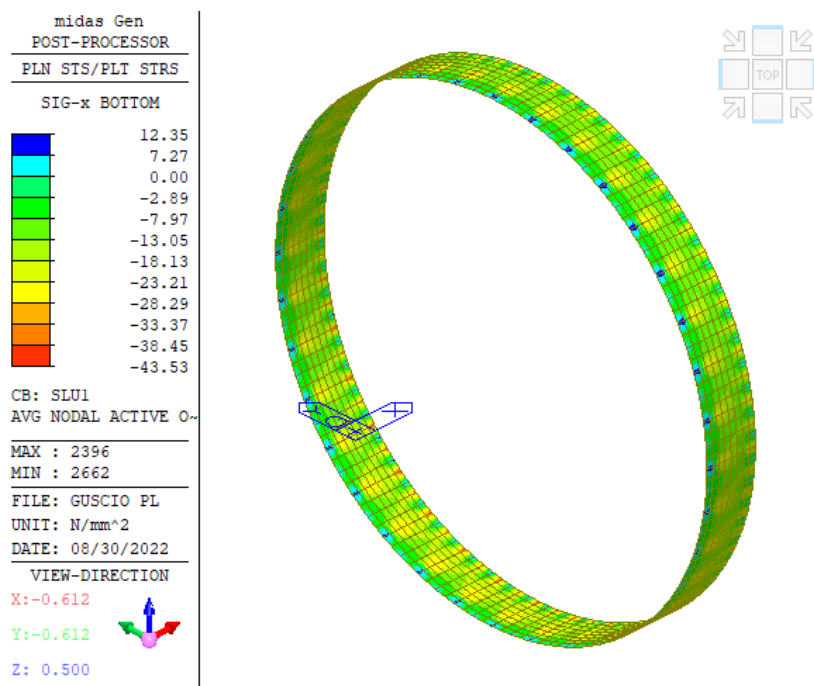


Figura 29: Tensioni normali combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello interno [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 47 di 53

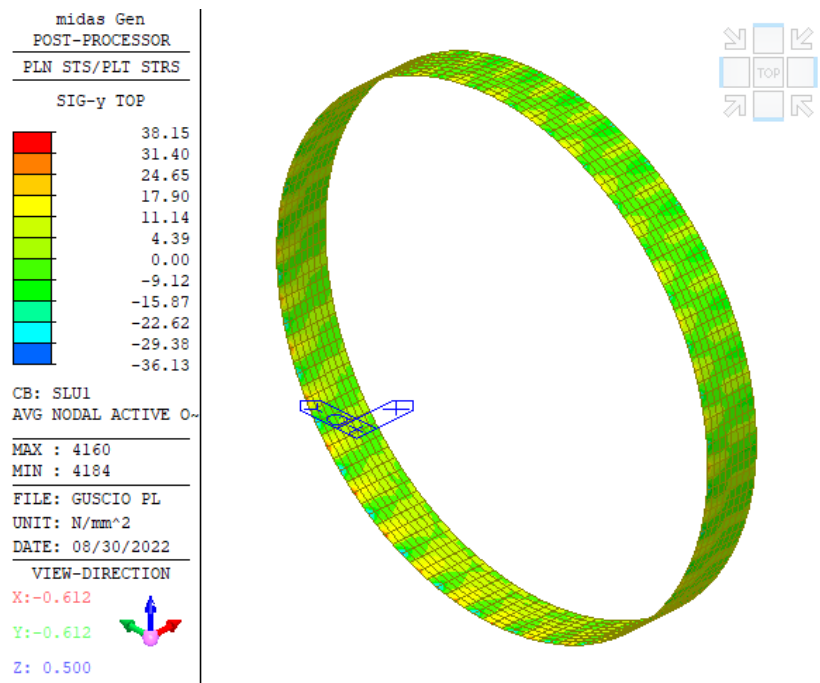


Figura 30: Tensioni tangenziali combinazione SLU 1 - Fibre superiori anello interno [MPa].

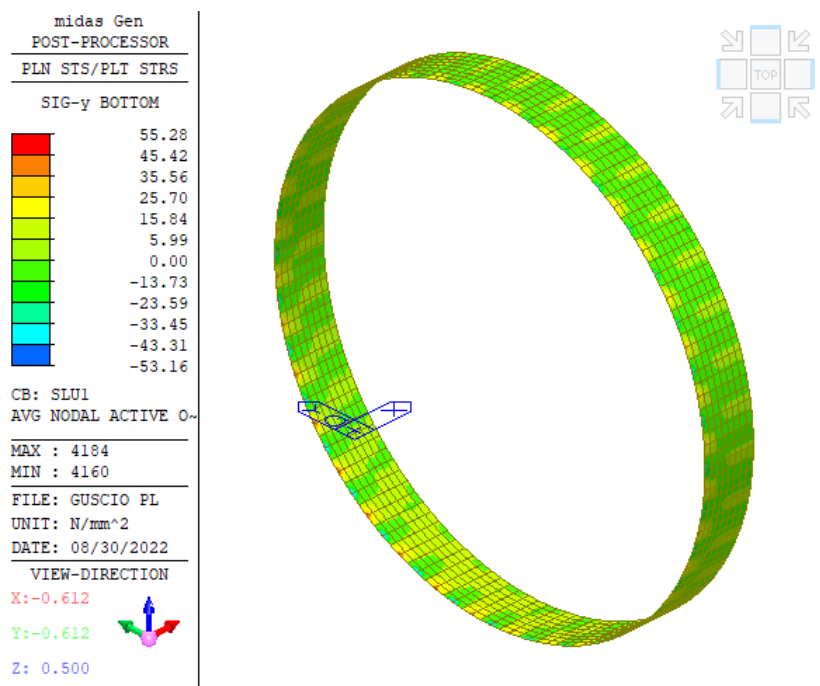


Figura 31: Tensioni tangenziali combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello interno [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 48 di 53

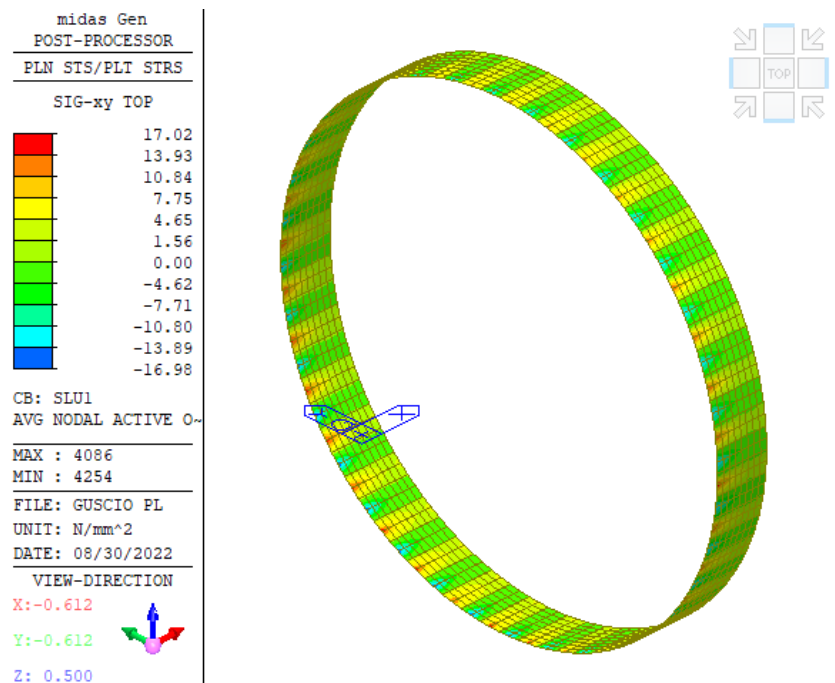


Figura 32: Tensioni di taglio combinazione SLU 1 - Fibre superiori anello interno [MPa].

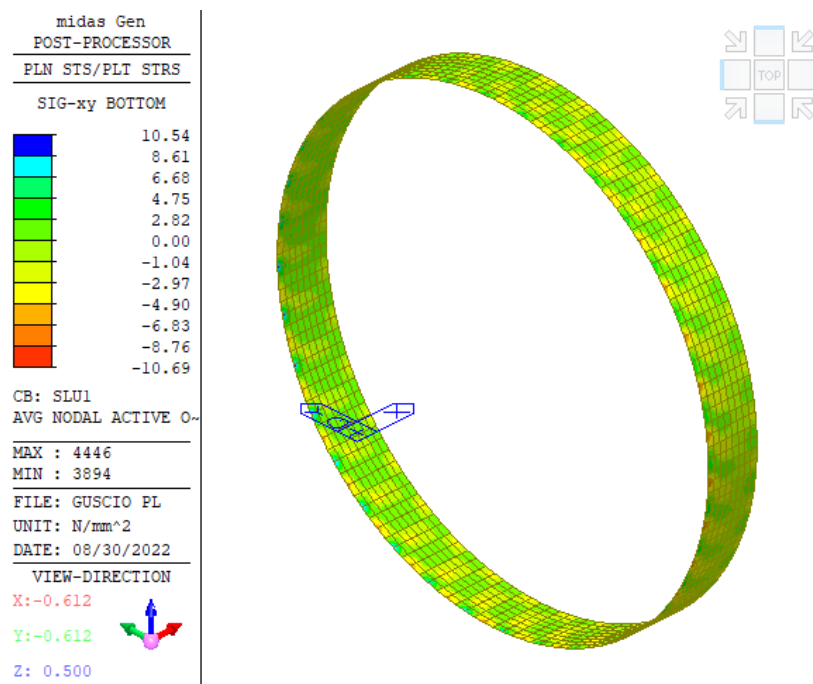


Figura 33: Tensioni di taglio combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello interno [MPa].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone:	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
	Progetto di ripristino dello scarico di fondo	Data 07/03/2023
	<i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	Pagina 49 di 53

ALLEGATO C

Reazioni agli appoggi

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 50 di 53

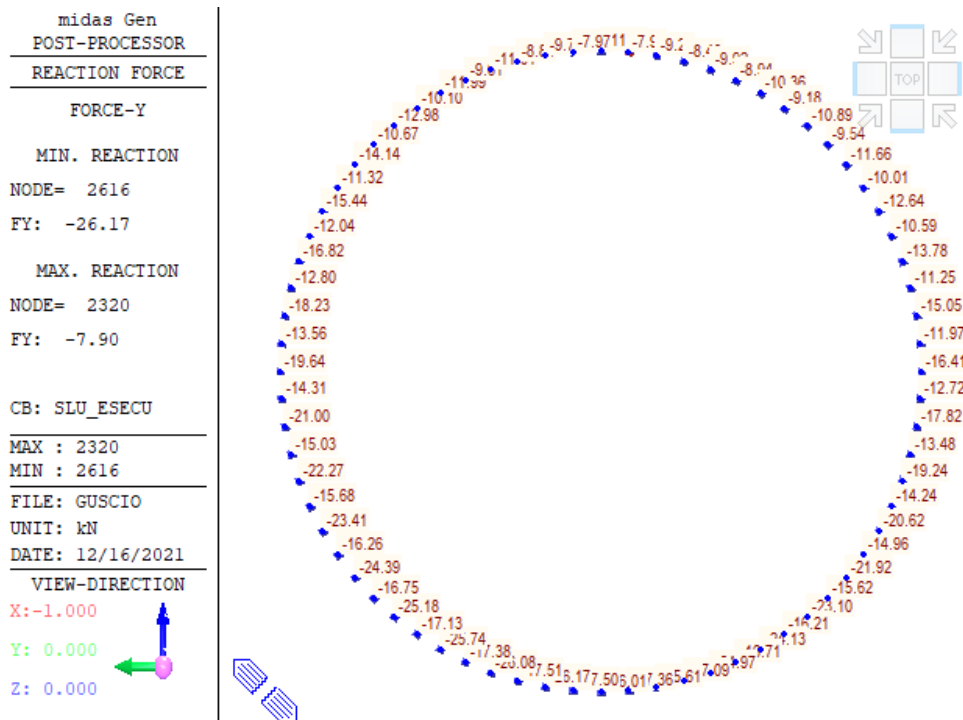


Figura 34: Reazioni normali alla muratura combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello interno [kN].

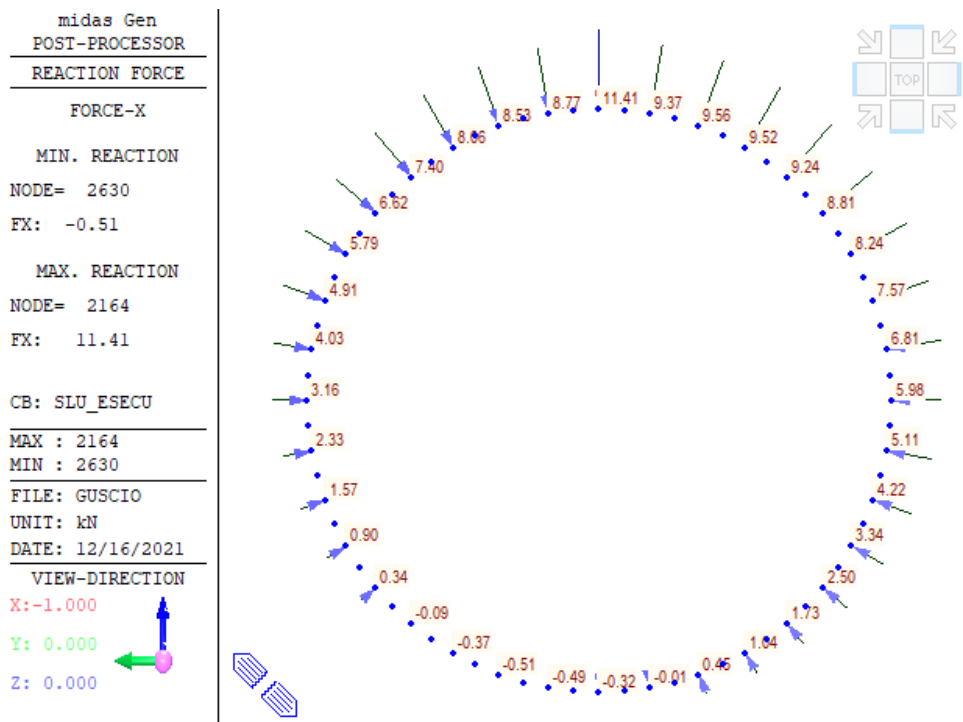


Figura 35: Reazioni radiali combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello esterno [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 51 di 53

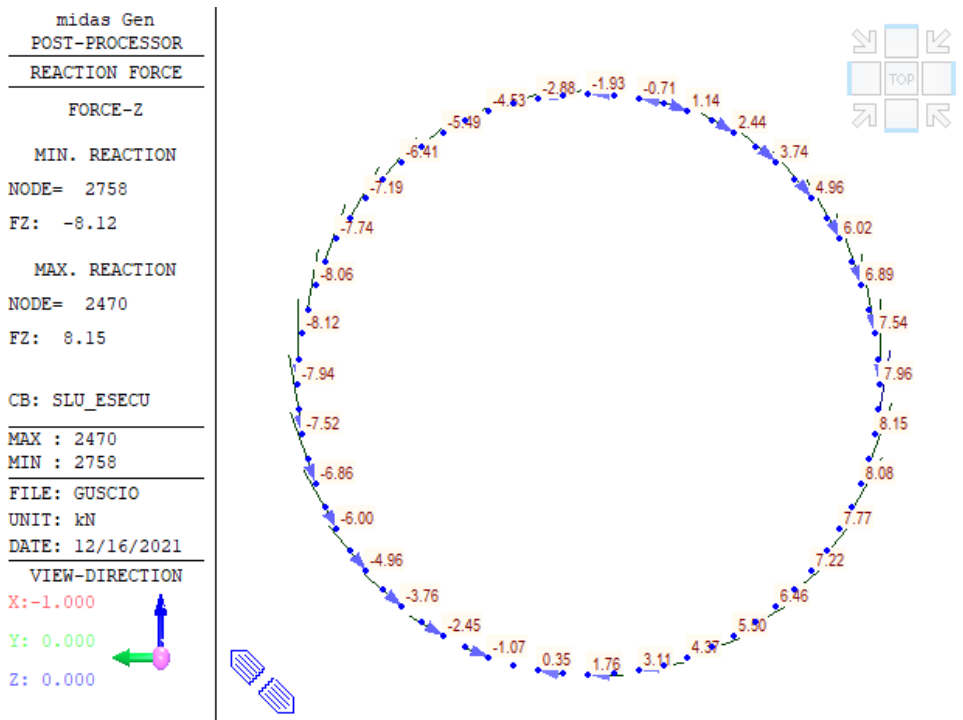


Figura 36: Reazioni tangenziali combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello esterno [kN].

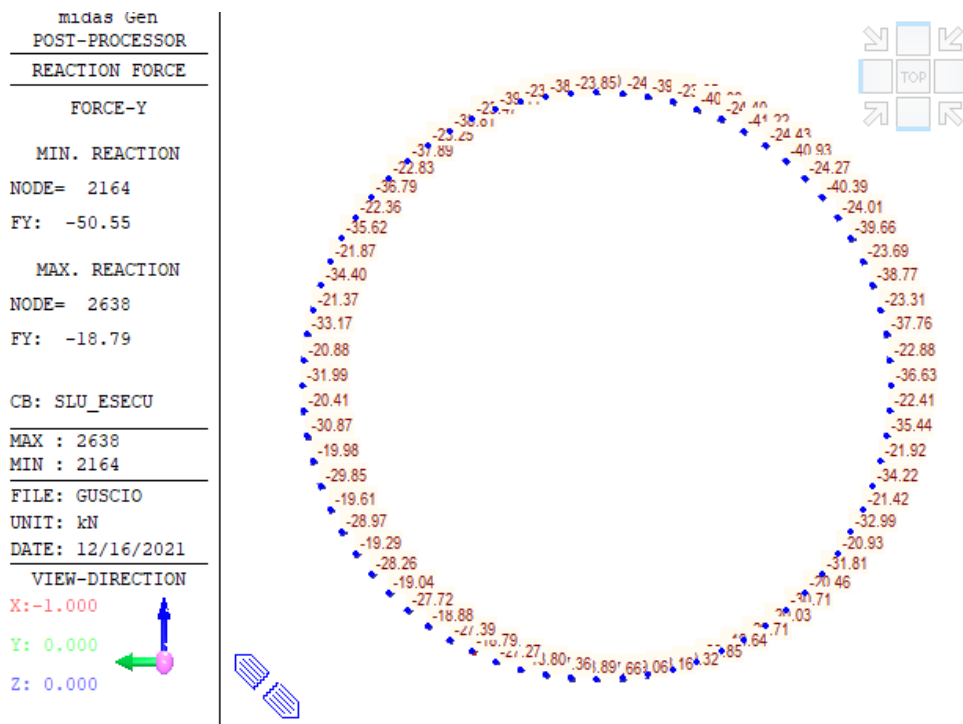


Figura 37: Reazioni normali alla muratura combinazione SLU 1 - Fibre inferiori anello esterno [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 52 di 53

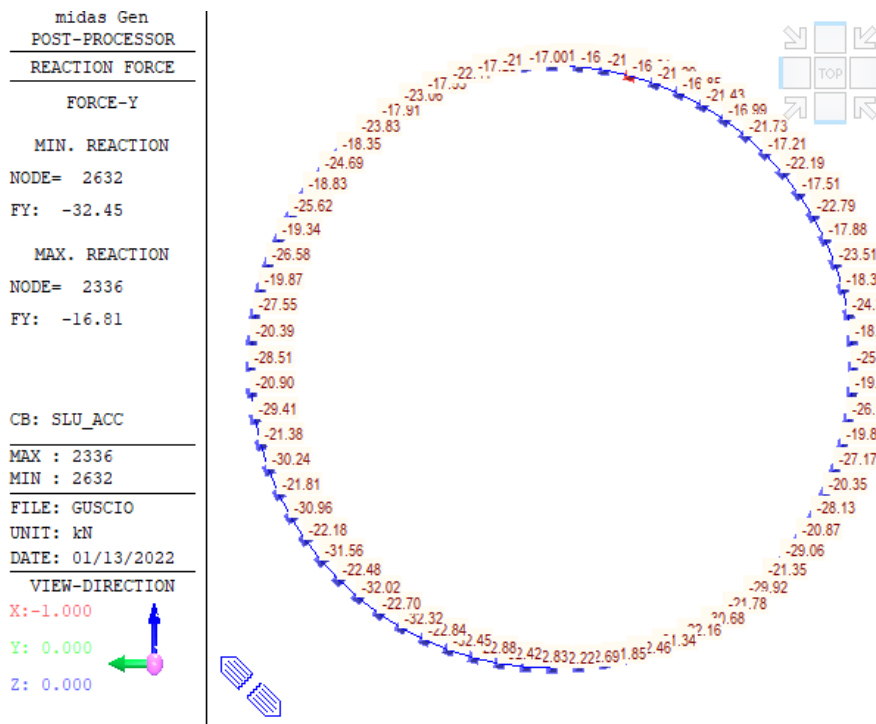


Figura 38: Reazioni normali alla muratura combinazione SLU 2 - Fibre inferiori anello interno [kN].

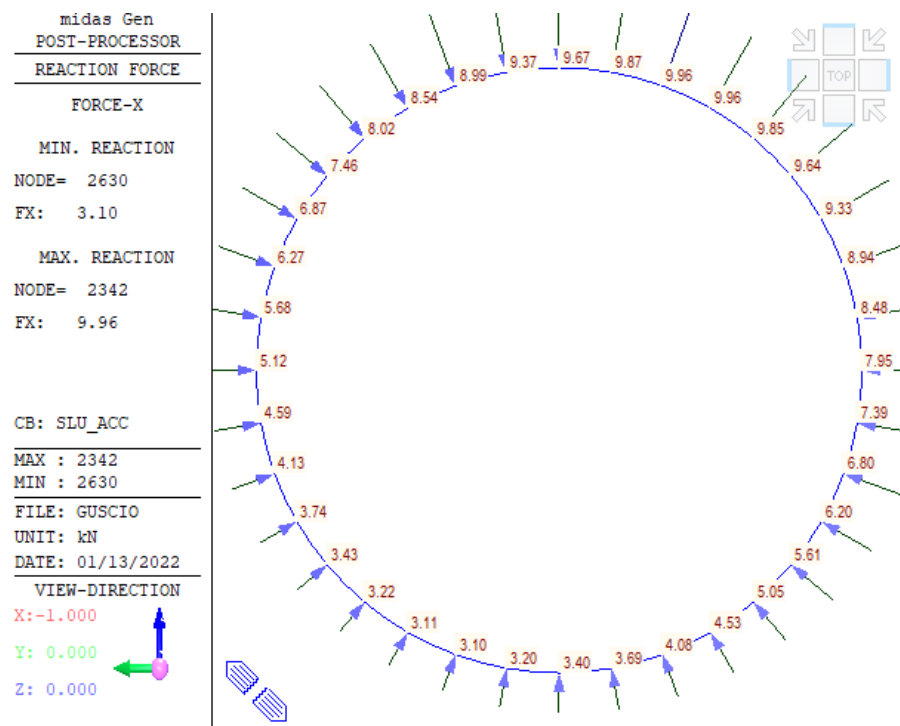


Figura 39: Reazioni radiali combinazione SLU 2 - Fibre inferiori anello esterno [kN].

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Coghinas	CODICE CKS GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone: Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Dimensionamento paratia di contenimento</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-GC-GEN-RT-104
		Data 07/03/2023
		Pagina 53 di 53

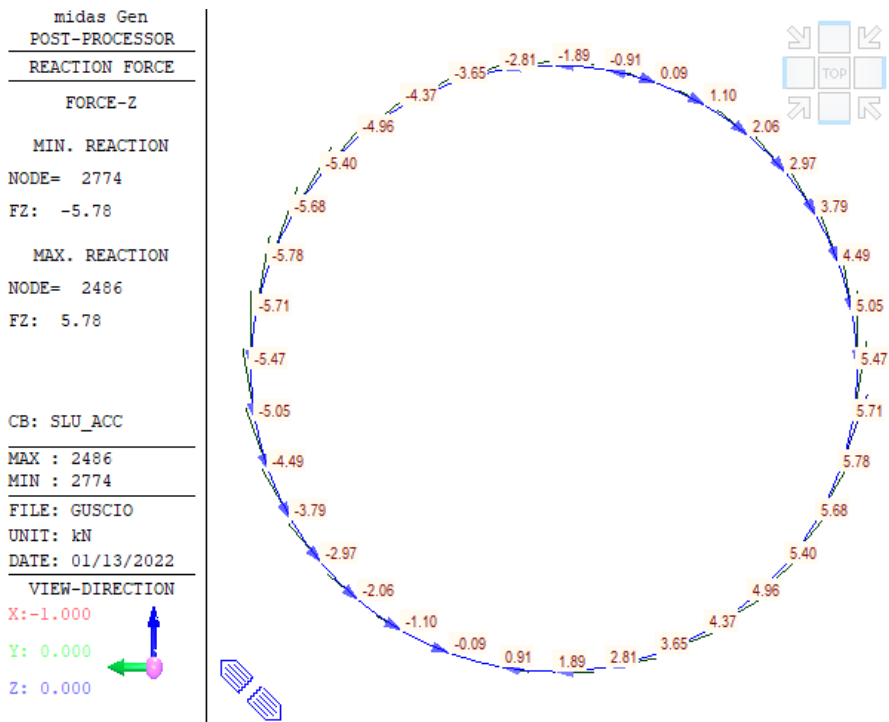


Figura 40: Reazioni tangenziali combinazione SLU 2 - Fibre inferiori anello esterno [kN].

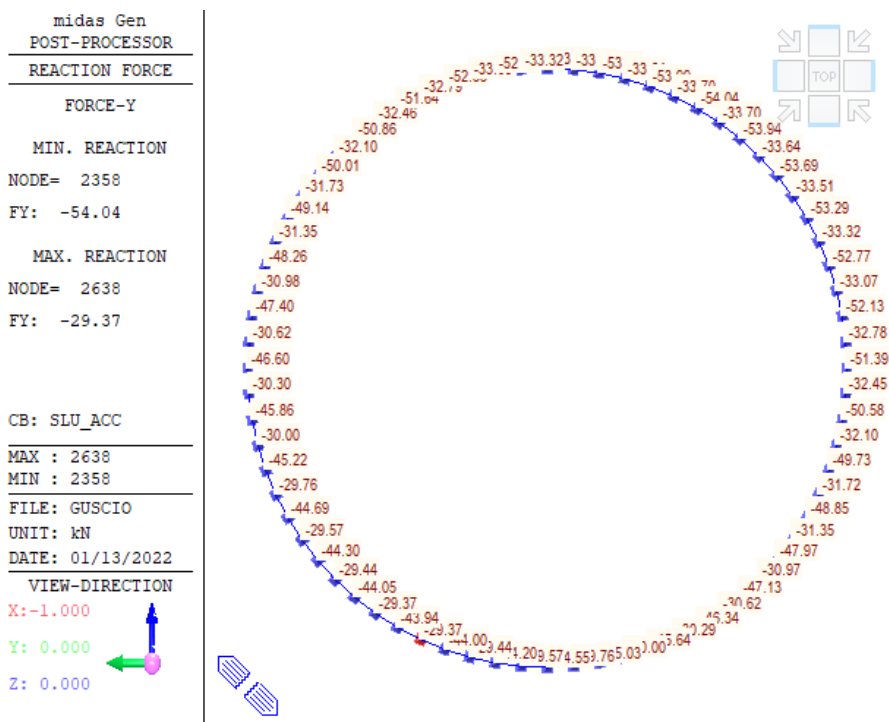


Figura 41: Reazioni normali alla muratura combinazione SLU 2 - Fibre inferiori anello esterno [kN].