

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 1 di 39

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 idraulica

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 Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 2 di 39

B	07.03.2023	AGi	MFr/Bal
A	15.07.2022	AGi	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 3 di 39

INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
1.1	Contesto generale e scopo del lavoro	5
1.2	Struttura del rapporto	5
1.3	Documentazione di riferimento	6
1.3.1	Documentazione del progetto definitivo e di istruttoria	6
1.3.2	Documenti del progetto esecutivo	6
1.3.3	Riferimenti normativi e linee guida	7
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
3.	CARATTERISTICHE GENERALI DEL SERBATOIO	12
3.1	Caratteristiche dell'invaso	12
3.2	Organi di scarico	14
4.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	15
5.	VERIFICHE IDRAULICHE	17
5.1	Definizione delle perdite di carico	17
5.1.1	Premessa	17
5.1.2	Tipologia di perdite	17
5.1.3	Perdite per attrito	17
5.1.4	Perdite concentrate	18
5.2	Scala di deflusso delle portate	20
5.2.1	Legge di deflusso per comportamento a pressione	20
5.2.2	Legge di deflusso per comportamento a pressione e apertura parziale delle paratoie	20
5.2.3	Legge di deflusso per comportamento a canaletta	21
5.3	Salto di sci (ski-jump)	23
5.3.1	Premessa	23
5.3.2	Portata di progetto (Q_d)	24

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 4 di 39

5.3.3	Quota del labbro inferiore del salto (NL)	24
5.3.4	Raggio del salto (R)	24
5.3.5	Angolo di uscita del flusso	25
5.3.6	Verifica della pressione idraulica nel salto	26
5.3.7	Drenaggi	27
5.3.8	Traiettoria del getto	27
5.3.9	Espansione laterale del getto	29
5.4	Verifica delle velocità in uscita dello scarico	30
5.5	Verifica dell'erosione a valle	30
5.5.1	Erosione sul fondo del fiume	30
5.5.2	Erosione sulle sponde	32
5.5.3	Configurazione finale del salto di sci	34
6.	CONCLUSIONI	35

ALLEGATO

A: Tabulazione della scala di deflusso delle portate

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 5 di 39

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.

L'obiettivo della presente Relazione Tecnica è quello di descrivere gli aspetti idraulici inerenti al nuovo scarico di fondo nella configurazione prevista dal progetto esecutivo. Per l'elaborazione del presente rapporto si è tenuto conto dei risultati delle precedenti verifiche idrauliche effettuate da Lombardi nell'ambito del progetto esecutivo e contenute nei seguenti documenti progettuali:

- a) 2020.0240.002-ID-DIG-RT-701: Valutazione dei tempi di vuotamento dell'invaso.
- b) 2020.0240.002-ID-DIG-RT-702: Valutazione delle scale di deflusso degli organi di scarico e verifica franco netto.
- c) 2020.0240.002-ID-DIG-RT-703: Verifica idraulica bidimensionale a valle diga.

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:** riporta le caratteristiche idrauliche e idrologiche del serbatoio;
- **Capitolo 4:** illustra l'intervento di ripristino dello scarico di fondo in progetto;
- **Capitolo 5:** presenta le verifiche idrauliche del nuovo scarico di fondo;
- **Capitolo 6:** contiene le conclusioni che possono essere ricavate dal presente studio.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 6 di 39

1.3 Documentazione 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] 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).
- [2] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Progetto di ripristino dello scarico di fondo – Progetto Definitivo – Relazione idrologica e idraulica, Sipad 1909714, 2016.
- [3] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Progetto di ripristino dello scarico di fondo – Progetto Definitivo – Relazione tecnico illustrativa, Sipad 1909714, 2016.
- [4] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Progetto di ripristino dello scarico di fondo – Progetto Definitivo – Integrazioni, GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.10.001.00, 2019.
- [5] ENEL Produzione S.p.A: Diga di Muzzone – Diga di Muzzone (SS) – Studio idrologico dell'invaso – Aggiornamento al 2018 (UID1961), GRE.OEM.R.90.IT.H.79008.09.004.00.
- [6] Piano di Laminazione statica preventivo dell'invaso della diga di Muzzone sul rio Coghinas in Comune di Oschiri (Direttiva P.C.M. 27/02/2004).
- [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.
- [8] 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 25312/RU del 25/11/2020 – Studio idrologico-idraulico – Parere.

1.3.2 Documenti del progetto esecutivo

- [9] Lombardi: 2020.0240.002-GT-GEN-RT-701 Relazione geologica.
- [10] Lombardi: 2020.0240.002-ID-DIG-RT-701 Valutazione dei tempi di vuotamento dell'invaso.
- [11] Lombardi: 2020.0240.002-ID-DIG-RT-702 Valutazione delle scale di deflusso degli organi di scarico e verifica franco netto.
- [12] Lombardi: 2020.0240.002-ID-DIG-RT-703 Verifica idraulica bidimensionale a valle diga.
- [13] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-101 Layout generale scarico di fondo.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 7 di 39

- [14] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-102 Dettaglio scarico di fondo – Tratto 1.
- [15] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-103 Dettaglio scarico di fondo – Tratto 2.
- [16] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-104 Dettaglio scarico di fondo – Tratto 3.
- [17] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-105 Dettaglio scarico di fondo – Sezioni e dettagli.
- [18] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-109 Dettaglio nuova camera di manovra paratoie – Pianta e Sezione A-A.
- [19] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-110 Dettaglio nuova camera di manovra paratoie – Sezioni B-B e C-C.
- [20] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-111 Dettaglio salto di sci – Pianta, Sezioni A-A, B-B e Dettaglio.
- [21] Lombardi: 2020.0240.002-GC-DIG-DW-112 Dettaglio salto di sci –Sezioni C-C e D-D.

1.3.3 Riferimenti normativi e linee guida

- [22] 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.
- [23] Idel'cik I.E., Memento des pertes de charge, Paris FR, 1999.
- [24] Hager W.H., Wastewater Hydraulics – Theory and Practice, 2012.
- [25] Sinniger R.O., Hager, W.H., Constructions hydrauliques, Traité de Génie civil, Volume 15, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Presses polytechniques romandes, Lausanne, 1989.
- [26] Mason, P.J. Practical guidelines for the design of flip buckets and plunge pools, Water Power and Dam Construction, 1993.
- [27] Bureau of Indian Standards, Criteria for hydraulic design of bucket type energy dissipator (second revision), 2010.
- [28] Khatsuria R. M., Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators, Civil and Environmental Engineering, 2005.
- [29] Varshney, R. S., Bajaj, M. L., Ski-jump buckets on Indian dams, Irrigation & Power, CBIP, October 1970.
- [30] KNS, Rao ME, WRD Thesis: University of Roorkee, 1978.
- [31] Kawakami, K., A study on the computation of horizontal distance of jet issued from a ski-jump spillway, Trans Japan Society of Civil Engineers. 1973, Vol. 5.
- [32] USBR Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators, Engg Monograph No 25, 1978.
- [33] U.S. Army Corps of Engineers, 1990. Engineering and Design: Hydraulic Design of Spillways, Washington D.C.: US Army Corps of Engineers, 1990.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 8 di 39

[34] Novak, P. A.I.B. Moffat and C. Nalluri, R. Narayanan, Hydraulic Structures, 2004.

[35] S. Heng, T. Tingsanchali, T. Suetsugi, Prediction formulas of maximum scour depth and impact location of a local scour hole below a chute spillway with a flip bucket, WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 172, 2013.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 9 di 39

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- 40 cm), 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.79008.10.092.01
	TITOLO Diga di Muzzone Progetto di ripristino dello scarico di fondo <i>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 10 di 39



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

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 11 di 39

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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 12 di 39

3. CARATTERISTICHE GENERALI DEL SERBATOIO

3.1 Caratteristiche dell'invaso

Le principali caratteristiche dell'invaso Coghinas, riportate dal F.C.E.M [1], si riassumono in seguito:

– altezza della diga (ai sensi del DM 24/03/1982):	58.00	m
– altezza della diga (ai sensi della L. 584/94):	54.00	m
– altezza di massima ritenuta:	50.00	m
– quota coronamento:	170.00	m. s.l.m.
– quota di massimo invaso:	166.00	m s.l.m.
– quota di massima regolazione:	164.00	m s.l.m.
– quota di minima regolazione:	143.00	m s.l.m.
– volume totale d'invaso (ai sensi del D.M. 24/03/82):	283.56x10 ⁶	m ³
– volume d'invaso (ai sensi della L. 584/94):	258.74x10 ⁶	m ³
– volume utile di regolazione:	223.90x10 ⁶	m ³
– portata di massima piena di progetto:	1'200	m ³ /s

Occorre sottolineare che, i vari volumi d'invaso e la portata massima di progetto indicati in precedenza corrispondono ai dati riportati nel F.C.E.M. e possono essere, dunque, non necessariamente aggiornati alle attuali condizioni d'esercizio.

La curva d'invaso è stata ottenuta considerando le seguenti relazioni che legano le altezze ai volumi d'acqua del serbatoio:

d) curva d'invaso secondo batimetria URS 2011: per altezze inferiori alla quota 164.00 m s.l.m

e) curva d'invaso secondo studio idrologico 2018 [5] : per altezze superiori alla quota 164.00 m s.l.m.

L'operazione si è resa necessaria poiché la batimetria URS 2011 si limita solo a fornire le caratteristiche dell'invaso per quote inferiori alla quota 164.00 m s.l.m.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 13 di 39

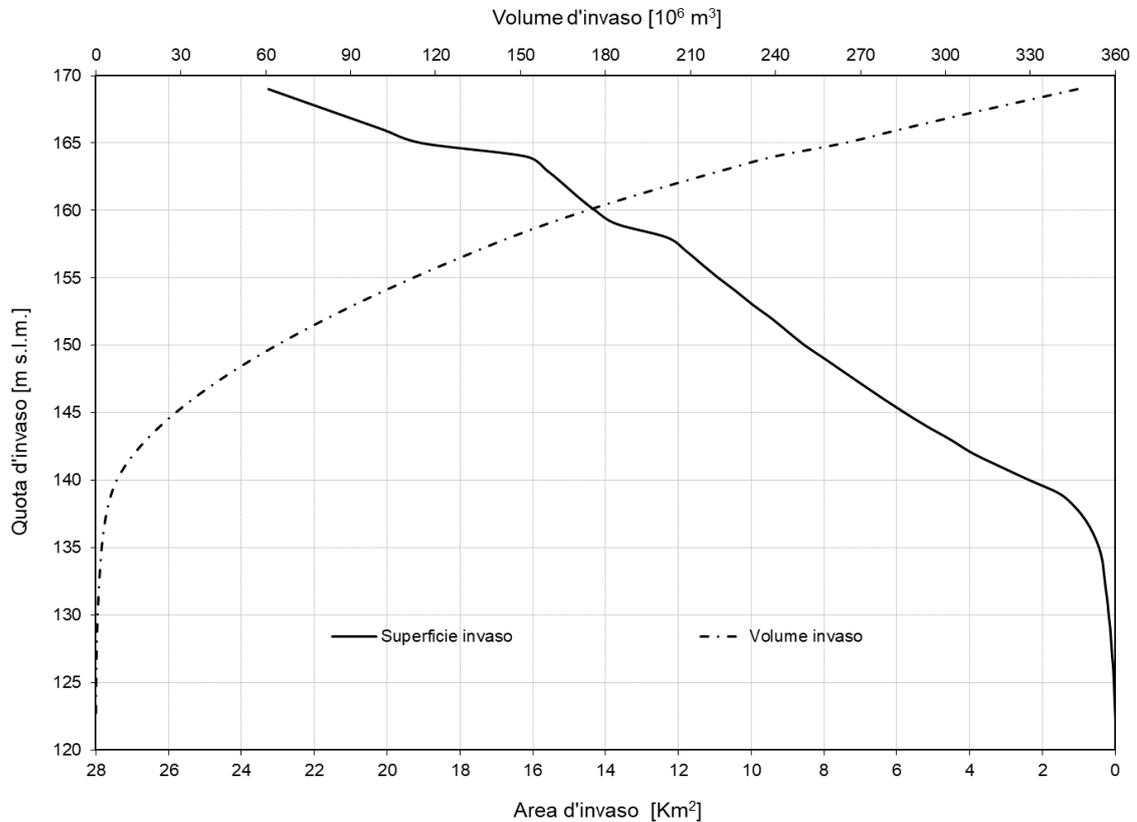


Figura 2: Curva d'invaso del serbatoio del Coghinas.

Dal grafico la superficie del bacino ed il volume totale d'invaso, in corrispondenza della quota massima di regolazione (164.00 m s.l.m.), risultano rispettivamente pari a 16.18 km² e 239.46 Mm³, mentre in corrispondenza della quota 166 m s.l.m. (massimo invaso secondo F.C.E.M.), sono di 20.11 km² e 283.60 Mm³. Il volume utile di regolazione del serbatoio, tra le quote 143.00 e 164.00 m s.l.m., è ca. 221.65 Mm³.

La quota di massimo invaso rivalutata si ubica, secondo le prescrizioni della nota DGD 25312/RU del 25/11/2020 allo studio idrologico-idraulico dell'invaso [8], alla quota 167.60 m s.l.m. In corrispondenza di tale livello l'invaso risulta essere caratterizzato da un volume di circa 317 Mm³ ed una superficie di circa 22 km².

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 14 di 39

3.2 Organi di scarico

Gli organi di scarico della diga di Muzzone comprendono:

1. Scarico di superficie: è costituito da quattro luci di 8.00 m ciascuna, realizzate in fregio al coronamento, nella parte centrale della diga, con soglia a quota 159.70 m s.l.m., intercettate da paratoie a settore autolivellanti di m 8.00x4.30.
2. Scarico di mezzofondo: è costituito da due condotti circolari affiancati del diametro di m 2.40, attraversanti la diga nella parte centrale, con l'asse a quota 138.00. Sono intercettati, in prossimità dello sbocco, da due paratoie piane a strisciamento di m 2.25x2.00 a comando oleodinamico.
3. Scarico di alleggerimento: consiste in una tubazione metallica del diametro di m 1.60, con asse a quota 133.50 ed intercettata a valle da due paratoie piane a strisciamento di m 1.20x0.90, inserita nella sede della preesistente derivazione forzata, di cui utilizza la parte iniziale.
4. Scarico di fondo esistente: consiste in una tubazione metallica del diametro di m 2.20, che attraversa il corpo diga un poco obliquamente rispetto ad essa; pressoché orizzontale, sbocca a valle con asse a quota 114.15 m s.l.m. Presso l'estremità di valle, ove era disposta una paratoia piana, ad oggi bloccata in posizione di chiusura e non più manovrabile, è stata operata una messa in sicurezza definitiva con realizzazione di un tampone in cls. Allo stato attuale, oltretutto, l'imbocco dello scarico risulta completamente al di sotto dei sedimenti.
5. Nuovo scarico di fondo: il progetto esecutivo prevede il ripristino dello scarico di fondo attraverso la realizzazione di una perforazione in corpo diga e l'alloggiamento al suo interno di una tubazione in acciaio con imbocco ed uscita ad un livello superiore nei confronti della configurazione originale, così come descritto nel capitolo 4.

Le leggi di efflusso degli scarichi esistenti della diga di Muzzone sono state già ampiamente trattate nei documenti progettuali [10] e [11].

In **Tabella 1** sono riassunte le principali caratteristiche degli organi di scarico nella configurazione del progetto esecutivo, in relazione al precedente massimo invaso 166.0 m s.l.m. definito nel F.C.E.M [1]:

Tipo di scarico	Quota monte [m s.l.m.]	Quota valle [m s.l.m.]	# organi [-]	Dimensioni [m]	Portata max. [m ³ /s]
Superficie	159.70 (soglia)	-	4	L = 8.00	990
Mezzofondo	138.00 (asse)	138.00 (asse)	2	Φ = 2.40	182
Alleggerimento	133.50 (asse)	133.50 (asse)	1	Φ = 1.60	27
Fondo (fuori)	114.15 (asse)	114.15 (asse)	1	Φ = 2.20	0
Fondo (progetto)	127.50 (asse)	121.20 (asse)	1	Φ = 2.20	89

Tabella 1: Parametri principali dei diversi organi di scarico della diga di Muzzone.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 15 di 39

4. 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.

Sezione verticale chiave

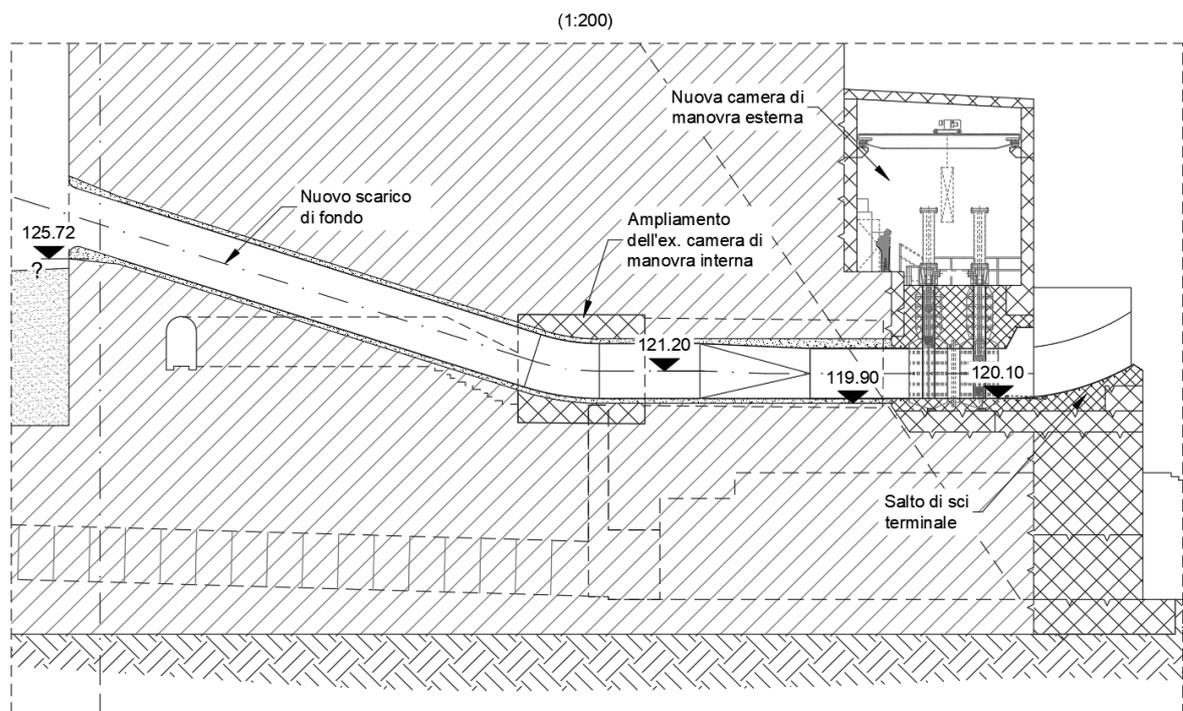


Figura 3: Sezione in asse al nuovo scarico di fondo in corpo diga.

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

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 16 di 39

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 già detto, si prevede inoltre quanto segue:

- inghisaggio del gomito dello scarico all'interno dei volumi della camera di montaggio e blindaggio del tratto finale in 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;
- 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, camera di manovra e del salto di sci è rappresentata nelle tavole progettuali 2020.0240.002-GC-DIG-DW-101/.../105, 109/.../112, ([13]...[21]).

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 17 di 39

5. VERIFICHE IDRAULICHE

5.1 Definizione delle perdite di carico

5.1.1 Premessa

L'obiettivo del calcolo delle perdite di carico lungo il tracciato del nuovo scarico di fondo è essenzialmente quello di verificare il comportamento idraulico dell'organo e determinare la scala di deflusso delle portate ad esso relativa.

5.1.2 Tipologia di perdite

I calcoli effettuati considerano perdite di carico distribuite per attrito lungo la condotta e perdite concentrate sulla base di quanto descritto nei seguenti paragrafi.

Ai fini del calcolo, sono state assunte ipotesi di calcolo (scelta della scabrezza, coefficienti di perdita locale, ecc.) tendenzialmente conservative. In altri termini, ci si aspetta che le perdite di carico descritte e stimate nel presente rapporto siano leggermente superiori rispetto alle perdite reali del sistema in operazione.

5.1.3 Perdite per attrito

Le perdite per attrito si manifestano di forma distribuita lungo la condotta e si devono essenzialmente alla scabrezza del materiale e alla viscosità dell'acqua contenuta al suo interno.

Conformemente a quanto riportato nella relazione idraulica del progetto definitivo [2], per il calcolo delle perdite di carico distribuite si utilizza la formula di Manning per condotte circolari:

$$\Delta H_a = \frac{10.29 \cdot n^2 \cdot Q^2}{D^{16/3}} L$$

dove:

$n = 0.012$ coefficiente di Manning

$D = 2.20 \text{ m}$ diametro idraulico del tubo

$L = 36.40 \text{ m}$ lunghezza della condotta

Dal punto di vista teorico, dato il caso di condotta in pressione, sarebbe stato formalmente corretto eseguire il calcolo delle perdite mediante l'applicazione della formula di Darcy-Weisbach e la stima del coefficiente di attrito secondo la teoria di Colebrook-White. Nonostante questo, a fini conservativi,

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 18 di 39

si è ritenuta valida l'ipotesi adottata in fase di progetto definitivo e l'applicazione, dunque, della formula di Manning per condotte circolari in pressione.

5.1.4 Perdite concentrate

Le perdite di carico concentrate si verificano nelle singolarità del sistema idraulico e risultano proporzionali all'altezza di velocità (cinetica):

$$\Delta H = k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

dove:

ΔH	perdita di carico concentrata [m]
v	velocità media dell'acqua nella sezione [m/s]
k	coefficiente di perdita di carico concentrata [-]
g	accelerazione di gravità [m/s ²]

Ai fini del calcolo si considerano, per il nuovo scarico di fondo, le seguenti perdite concentrate:

- perdita all'imbocco dello scarico di fondo;
- perdita in corrispondenza del gomito della condotta in prossimità della camera di montaggio;
- perdite in corrispondenza delle paratoie.

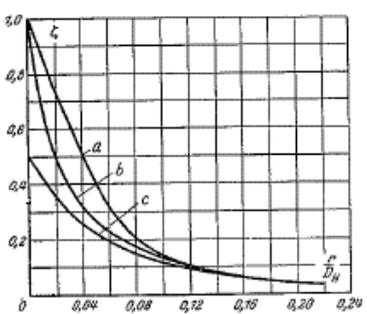
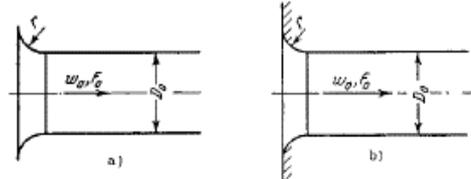
Relativamente all'imbocco del nuovo scarico di fondo, come mostrato nelle tavole di progetto, si prevede una sezione d'entrata con profilo idrodinamico, in modo tale da ridurre al minimo le perdite localizzate.

Secondo [22] le perdite d'imbocco dipendono dalla relazione tra il raggio di curvatura e il diametro della condotta (vedi **Figura 4**).

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 19 di 39

Collecteur continu, tracé suivant un arc de cercle, sans écran $Re = w_0 D_H / \nu > 10^4$	Chapitre III Diagramme 3.3
--	---

$D_H = 4F_0 / \Pi_0$; Π_0 : périmètre
 $\xi = \frac{\Delta H}{\gamma w_0^2}$ est déterminé suivant les courbes a), b) et c) en fonction de r/D_H .
 Les valeurs de ν sont données dans le § 1.3, b).



r/D_H	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,12	0,16	$\geq 0,20$
a) sans paroi frontale (non tourné)											
ξ	1,0	0,87	0,74	0,61	0,51	0,40	0,32	0,20	0,10	0,06	0,03
b) sans paroi frontale (tourné)											
ξ	1,0	0,65	0,49	0,39	0,32	0,27	0,22	0,18	0,10	0,06	0,03
c) avec paroi frontale (non tourné)											
ξ	0,50	0,43	0,36	0,31	0,26	0,22	0,20	0,15	0,09	0,06	0,03

Figura 4: Calcolo delle perdite di carico all'imbocco di una condotta, [22].

Nel caso in questione, considerando l'imbocco di raggio 0.35 m, si ha una relazione $r/D = 0.16$ e dunque un coefficiente di perdita di carico pari a $k_1 = 0.06$.

Data la geometria del nuovo scarico di fondo è importante tenere conto, inoltre, del raccordo curvo (gomito) tra la parte inclinata e l'ultimo tratto orizzontale della condotta. Il coefficiente di perdita è definito in funzione della seguente relazione [22]:

$$k_2 = 0.9 \times \sin(\vartheta) \times \frac{0.21}{\sqrt{R/D}}$$

dove:

- $\vartheta = 16^\circ$ angolo tra i due assi
- $R = 8.8 \text{ m}$ raggio di curvatura della curva
- $D = 2.2 \text{ m}$ diametro della condotta

Il coefficiente di perdita in prossimità della curva risulta dunque $k_2 = 0.03$.

Relativamente alle perdite in prossimità delle sezioni di uscita dove sono ubicate le due paratoie, si è assunto un coefficiente di perdita totale pari a $k_3 = 2 \times 0.15 = 0.30$ (paratoie completamente aperte, [22]).

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 20 di 39

5.2 Scala di deflusso delle portate

5.2.1 Legge di deflusso per comportamento a pressione

La portata in uscita dal nuovo scarico di fondo può essere stimata mediante l'applicazione del teorema di Bernoulli:

$$H = \frac{v^2}{2g} \times (1 + \sum k) + \Delta H_d$$

dove:

H carico totale rispetto alla quota d'asse dello scarico in uscita [m]

$v = Q/A$ velocità dell'acqua in uscita, rapporto tra portata Q e superficie A [m/s],

k coefficiente di perdita di carico concentrata [-]

ΔH_d perdite di carico distribuite [m]

Sostituendo le formule ed i coefficienti descritti precedentemente per le varie perdite di carico, la formula per il calcolo della portata in funzione del carico, nel caso di paratoie completamente aperte, si esprime dunque attraverso la seguente relazione:

$$Q = C_q \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 0.79 \times 3.80 \times \sqrt{2 \times 9.81 \cdot H} = 13.253 \cdot \sqrt{H}$$

dove:

Q portata [m³/s]

H carico totale rispetto alla quota d'asse dello scarico in uscita [m]

5.2.2 Legge di deflusso per comportamento a pressione e apertura parziale delle paratoie

Nel caso invece di apertura parziale delle paratoie, la portata in efflusso può esprimersi mediante la seguente formula:

$$Q = C_d \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - \Delta H)}$$

dove

C_d coefficiente di efflusso [-]

a apertura della paratoia, variabile fra 0 e 2 m

b larghezza della paratoia, pari a 2 m

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 21 di 39

H carico totale rispetto alla quota d'asse dello scarico in uscita [m]

ΔH perdita di carico totale tra l'imbocco e la sezione della paratoie [m]

Nel caso di paratoie piane a settore, il coefficiente di efflusso può essere calcolato secondo le seguenti espressioni [25]:

$$C_d = C_{d0} \cdot \exp \left[-\frac{\bar{A}}{2} \left(1 - \frac{\delta^2}{6} \right) \right] ; \quad C_{d0} = \xi \left[\frac{4 + 5 \cdot \exp(-0.76 \cdot \delta)}{9} \right]$$

dove:

$\bar{A} = a/H$ rapporto fra apertura della paratoia e carico idraulico

δ inclinazione della paratoia, pari a 0°

ξ coefficiente riduttivo, pari a 0.96 per paratoie a settore

In base a quanto descritto in precedenza, sostituendo i valori delle perdite e dei coefficienti, la portata di efflusso nel caso di apertura parziale delle paratoie si può esprimere secondo la seguente relazione:

$$Q = C_d \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + \left(\frac{C_d^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{23.38} \right)}}$$

5.2.3 Legge di deflusso per comportamento a canaletta

Quando lo scarico non risulta più sotto battente, ci si aspetta che il flusso nella condotta sia supercritico, il che implica che il tirante idraulico tenderà a diminuire lungo il tracciato e che dunque la massima profondità in condizioni di flusso libero sia l'altezza critica in corrispondenza della sezione d'entrata di monte.

Nel caso di condotte circolari, Hager [24], propone le seguenti relazioni per il calcolo dell'altezza critica e dell'energia specifica ad essa associata:

$$h_c = \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{g \cdot D}}} \quad \frac{h_c}{D} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{H_c}{D} \right)^{5/6}$$

dove:

h_c altezza critica [m]

H_c energia specifica critica, corrispondente al carico rispetto l'invert della condotta [m]

D diametro della condotta [m]

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 22 di 39

g accelerazione di gravità [m/s²]

Q portata [m³/s]

Sostituendo i valori, la portata in efflusso dallo scarico è fornita dalla seguente espressione:

$$Q = \frac{4}{9} \cdot H_c^{5/3} \cdot D^{5/6} \sqrt{g}$$

In tal caso, è possibile considerare un funzionamento a canaletta dello scarico per livelli d'invaso inferiori alla quota 131.7 m s.l.m.

Nella **Figura 5** si mostra la scala di deflusso delle portate del nuovo scarico di fondo, per le varie altezze di apertura delle paratoie a settore.

I risultati in forma tabellare della scala di deflusso rappresentata in **Figura 5**, sono riportati nell'**Allegato A** del presente rapporto.

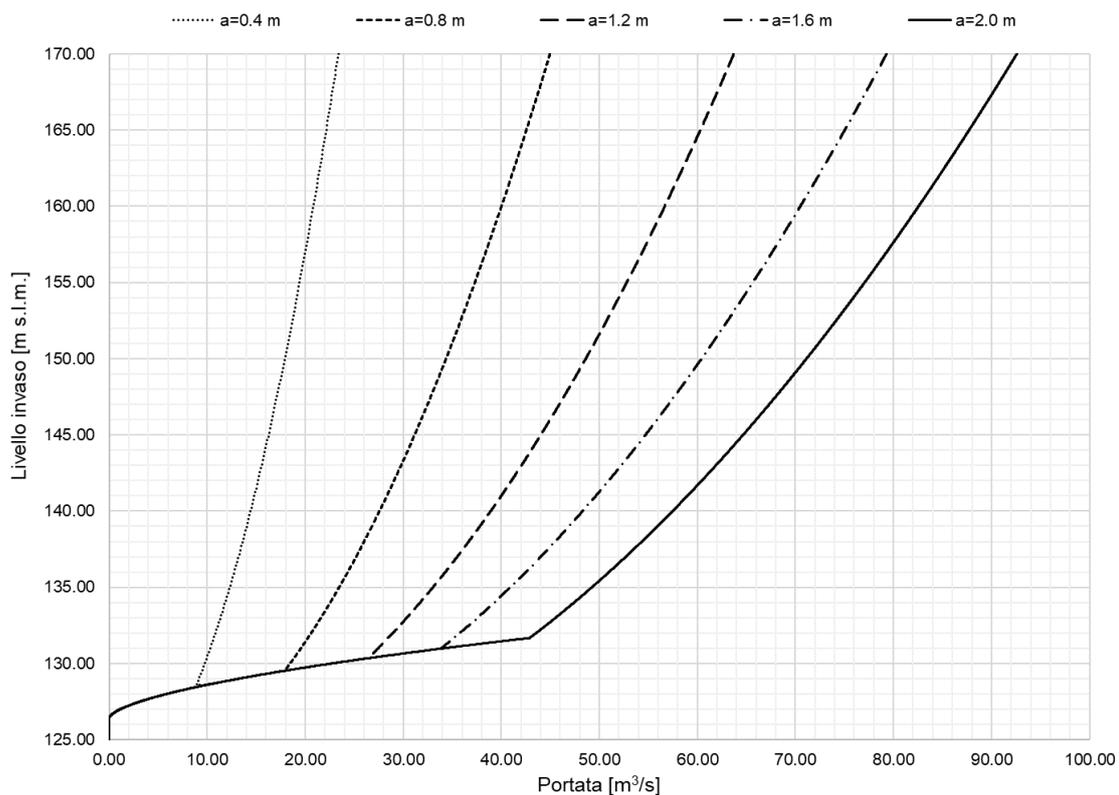


Figura 5: Nuovo scarico di fondo – evoluzione della portata di efflusso in funzione dell'apertura delle paratoie e della quota d'invaso.

Nella nuova configurazione dello scarico di fondo, grazie agli accorgimenti adottati al fine di ridurre le perdite, la curva di efflusso calcolata mantiene sempre prestazioni al di sopra di quelle previste per la soluzione precedente proposta nel progetto definitivo.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 24 di 39

5.3.2 Portata di progetto (Q_d)

Per il dimensionamento dello ski-jump si assume il valore di portata massima in efflusso dallo scarico di fondo per livello d'invaso alla quota di massima regolazione 164.00 m s.l.m. e pari a $Q_d = 86.70 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale situazione coincide con il normale funzionamento dello scarico nel caso di ipotetico vuotamento del serbatoio ed apertura totale delle paratoie a settore. Non si considerano, per il dimensionamento, portate di efflusso superiori poiché lo scarico di fondo non è normalmente un organo di scarico di cui è previsto l'uso per lo smaltimento degli eventi di piena.

5.3.3 Quota del labbro inferiore del salto (NL)

Il labbro inferiore del salto deve essere ubicato ad una quota tale da permettere che il flusso in uscita dallo scarico di fondo non sia rigurgitato nella condizione di progetto. Nel caso di funzionamento ordinario dell'organo, ovvero nel caso di vuotamento dell'invaso, il livello del pelo libero a valle TWL calcolato per le portate complessive in uscita dagli scarichi della diga ($Q_{\text{tot}} = 847 \text{ m}^3/\text{s}$) risulta ubicato alla quota 120.55 m s.l.m. (rif. documento progettuale [12]).

Sulla base di questo, al fine di un funzionamento non rigurgitato del salto, si è deciso di ubicare il labbro inferiore alla quota minima $NL = 121.42 \text{ m s.l.m.}$, ovvero ad una altezza $h_s = 1.30 \text{ m}$ rispetto la quota di invert dello ski-jump $NIS = 120.10 \text{ m s.l.m.}$ (vedi **Figura 6**).

5.3.4 Raggio del salto (R)

Il criterio più frequente per la determinazione del raggio del salto (R) è quello basato sul prodotto di un coefficiente per l'altezza della lamina d'acqua (d) che si registra in prossimità della sezione d'entrata al salto (vedi **Figura 6**). I valori tipici sono compresi nel rango $3d - 8d$ (rif. [26] e [28]).

Addizionalmente a tale criterio, si presentano in seguito alcune formule empiriche per la determinazione del raggio:

a) Metodo Varshnety y Bajaj (1970, rif. [29]):

$$Fr^{0.5} = 0.06 \frac{R}{d} + 1.96 \quad (eq. 1)$$

dove Fr rappresenta il numero di Froude nella sezione d'ingresso al salto.

b) Metodo della media geometrica (rif. [28]):

$$R = \sqrt{d * H} \quad (eq. 2)$$

dove H è il carico idraulico rispetto l'invert del salto.

c) Metodo di KNS Rao (1978, [30])

$$\frac{R}{d} = 11.534Fr^{0.5} - 9.113Fr^{0.5} \quad \text{per } 3 < Fr < 5.5 \quad (eq. 3)$$

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 25 di 39

$$\frac{R}{d} = 4.037(Fr - 3.7627) \quad \text{per} \quad 5.5 < Fr < 10$$

dove Fr rappresenta il numero di Froude nella sezione d'ingresso al salto.

Per il caso in questione, i valori del raggio ottenuti secondo i diversi criteri esposti si riassumono nella seguente tabella:

Criterio	Raggio [m]
3d – 8d	6.0 – 16.0
Equazione 1	8.4
Equazione 2	9.2
Equazione 3	9.1

Tabella 3: Valori suggeriti per il raggio R dello ski-jump.

In riferimento a tali valori ed alle indicazioni contenute in letteratura tecnica [32] e [33], si è ritenuto opportuno assumere un raggio del salto pari a 10 m.

5.3.5 Angolo di uscita del flusso

Uno dei parametri che influisce maggiormente sulla traiettoria del getto d'acqua è l'angolo α tra la direzione d'uscita del salto e l'orizzontale.

Mason (rif. [26]) suggerisce di considerare valori di α compresi tra 15° e 40°. Mentre USACE (1990, [33]) raccomanda la stima dell'angolo attraverso la seguente formula:

$$\alpha = \tan^{-1} \left\{ \frac{[d(2R - d)]^{1/2}}{R - d} \right\}$$

Per il caso in questione, i valori dell'angolo α ottenuti secondo i criteri esposti si riassumono nella seguente tabella:

Criterio	Angolo α
Mason	15° – 40°
USACE	30°

Tabella 4: Valori suggeriti per l'angolo α dello ski-jump.

In riferimento a tali valori si è ritenuto opportuno assumere un angolo α pari a 30°.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 26 di 39

5.3.6 Verifica della pressione idraulica nel salto

A partire degli anni '50 del secolo scorso, varie teorie sono state sviluppate per la definizione delle pressioni idrauliche in corrispondenza del salto di sci. Tali studi [31] tengono in conto di vari fenomeni idraulici, fra cui l'interazione fra pressione idrostatica e centripeta, la teoria dei vortici, e così via.

Il valore teorico della pressione che si esercita sullo ski-jump può essere stimato sommando mediante la seguente espressione:

$$P_t = \left(d + \frac{d \cdot V_d^2}{g \cdot R} \right) \cdot \delta$$

dove:

P_t pressione idrodinamica sul salto [ton/m²]

R raggio del salto [m]

δ densità dell'acqua [ton/m³]

d profondità della lamina d'acqua sul salto [m]

V_d velocità dell'acqua sul salto [m/s]

Poiché sperimentalmente si è dimostrato che la pressione varia lungo lo sviluppo del salto, USBR (1978, [32]) ha proposto il grafico mostrato in **Figura 7** per la determinazione della pressione teorica P_x in ciascun punto del salto:

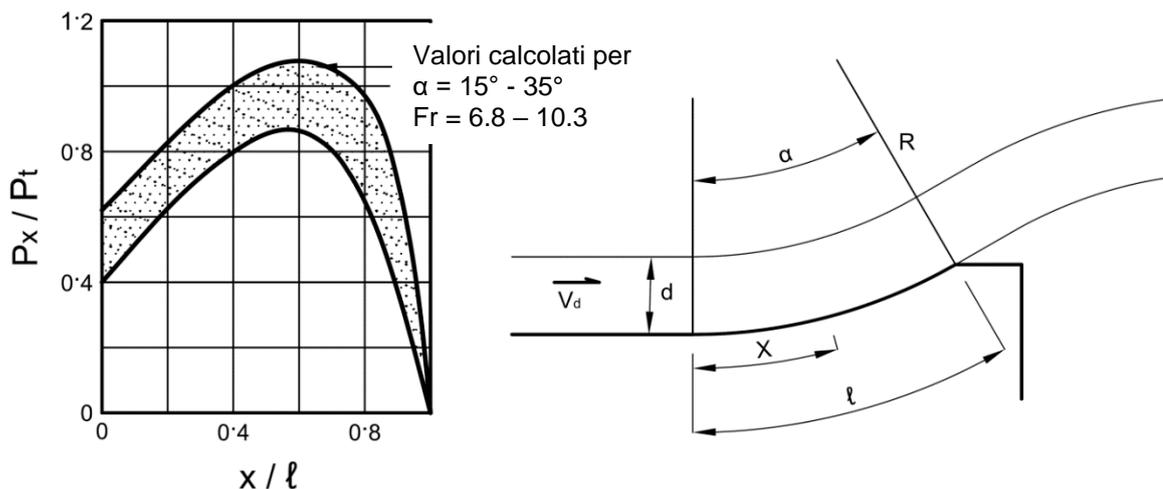


Figura 7: Distribuzione teorica delle pressioni sul salto di sci, [32].

Come è possibile osservare dal grafico, la massima pressione (P_x) si verifica circa a $x/l = 0.60$.

Nella **Figura 6** si mostra la distribuzione delle pressioni teoriche P_x , calcolate secondo l'applicazione del metodo descritto per il caso in questione:

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 27 di 39

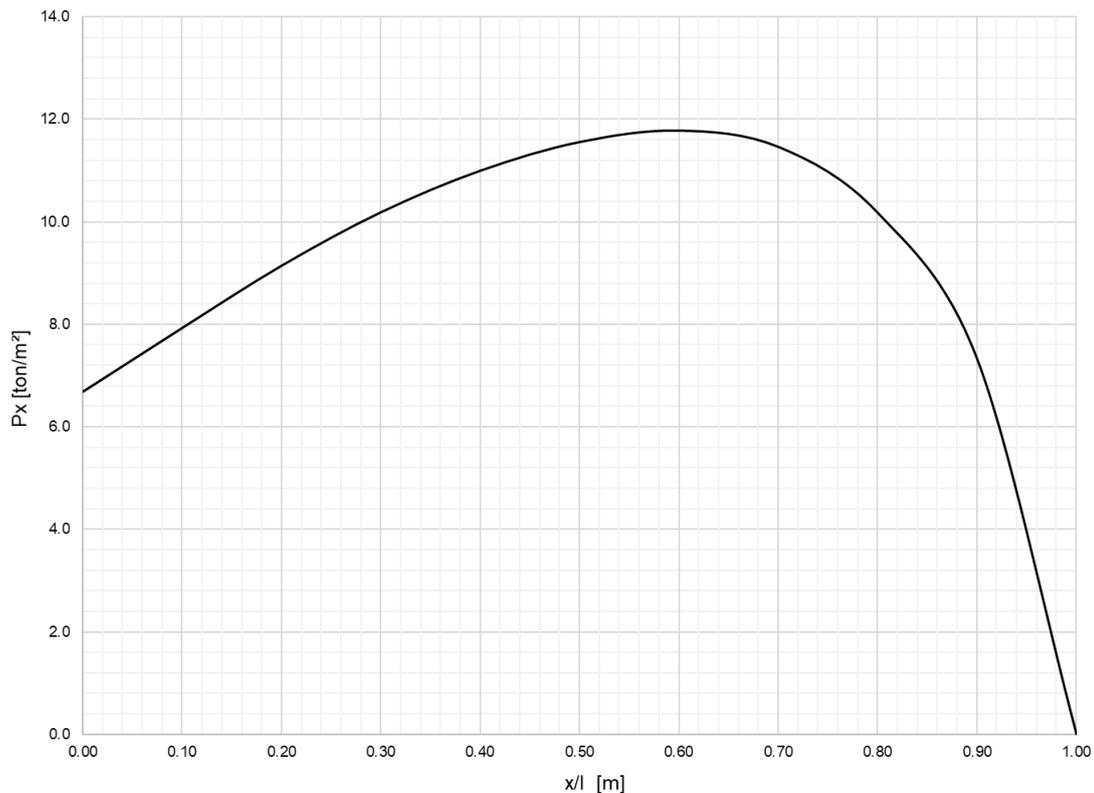


Figura 8: Andamento delle pressioni teoriche sul salto di sci in uscita allo scarico di fondo in progetto.

Oltre a questo, è doveroso tenere in conto che le pressioni in prossimità del labbro inferiore sono influenzate dall'angolo β tra la direzione di uscita e la superficie a valle del labbro (vedi **Figura 6**). Mason (1993, [26]) suggerisce di utilizzare un angolo β maggiore di 40° per evitare che si formino pressioni negative sul labbro. Nel caso in questione, è stato assunto per l'angolo β un valore pari a 60° .

5.3.7 Drenaggi

Per questioni di durabilità dell'opera, il salto deve essere adeguatamente drenato per evitare il ristagno d'acqua nella parte maggiormente depressa. Oltre a questo, eventuali drenaggi provvederebbero a ottimizzare il funzionamento del salto, agendo come sistema di areazione dei getti. Per questo motivo si prevede l'inserimento di due tubi di drenaggio metallici di diametro nominale DN = 100 mm ubicati lateralmente in prossimità dei muri d'ala.

5.3.8 Traiettoria del getto

La traiettoria di una generica particella del getto d'acqua può essere approssimata al moto parabolico della fisica cinematica e calcolata dunque mediante l'applicazione delle leggi di Newton.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 28 di 39

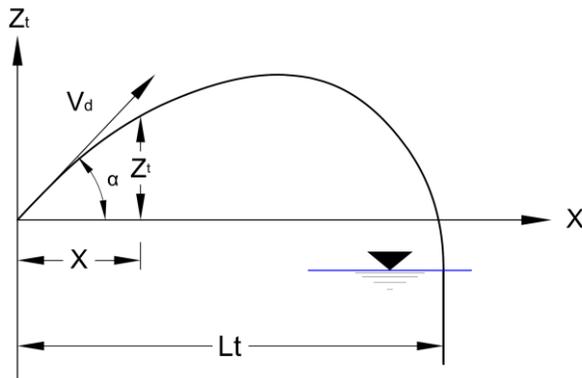


Figura 9: Traiettoria della generica particella del getto.

In tal caso, la traiettoria si esprime mediante la seguente relazione:

$$Z_t = \tan \alpha x - \frac{g}{2 V_d^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

Poiché in realtà il moto del getto è influenzato da vari fattori, ed in particolare dalla resistenza d'attrito dinamico dovuta all'aria, Kawakami (1973, [31]) fornisce le seguenti formule per il calcolo della traiettoria:

$$Z_t = \frac{1}{gk^2} \ln (\cos \gamma + \tan \delta * \sin \gamma)$$

$$\gamma = \frac{e^{gk^2 x} - 1}{kVd} (\text{rad}) \delta = \tan^{-1} kVd (\text{rad})$$

dove k , costante relativa alla resistenza dell'aria, può essere stimata attraverso il seguente grafico:

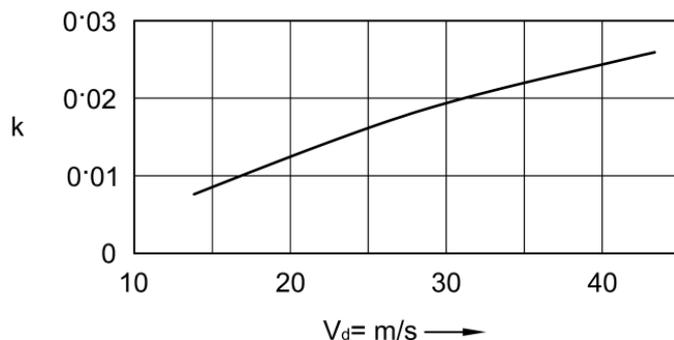


Figura 10: Costante relativa alla resistenza dell'aria (Kawakami 1973, [31]).

Nella **Figura 11**, si mostra la comparazione tra le traiettorie dei getti in uscita dal salto di sci in progetto, calcolate secondo le due diverse teorie sopracitate. Entrambe le curve hanno origine in prossimità del labbro inferiore del salto di sci ubicato a quota 121.42 m s.l.m.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 29 di 39

Come era lecito attendersi, la traiettoria calcolata attraverso il moto parabolico è caratterizzata da uno sviluppo maggiore rispetto a quella stimata tenendo conto della resistenza al moto offerta dall'aria. Per questo motivo, si ritiene opportuno assumere come traiettoria di progetto quella determinata attraverso la teoria di Kawakami, conservativa rispetto al moto del proiettile poiché permette di considerare la caduta del getto ad una distanza inferiore rispetto al piede di valle della diga. In tal caso si stima, nella condizione ipotetica di assenza di acqua a valle, che il getto impatti con il fondo alveo, ubicato a quota ca. 114.0 m s.l.m., ad una distanza di ca. 50 m dal paramento della diga e presenti un'ordinata massima di 127.34 m s.l.m in corrispondenza dell'ascissa $x = 20$ m.

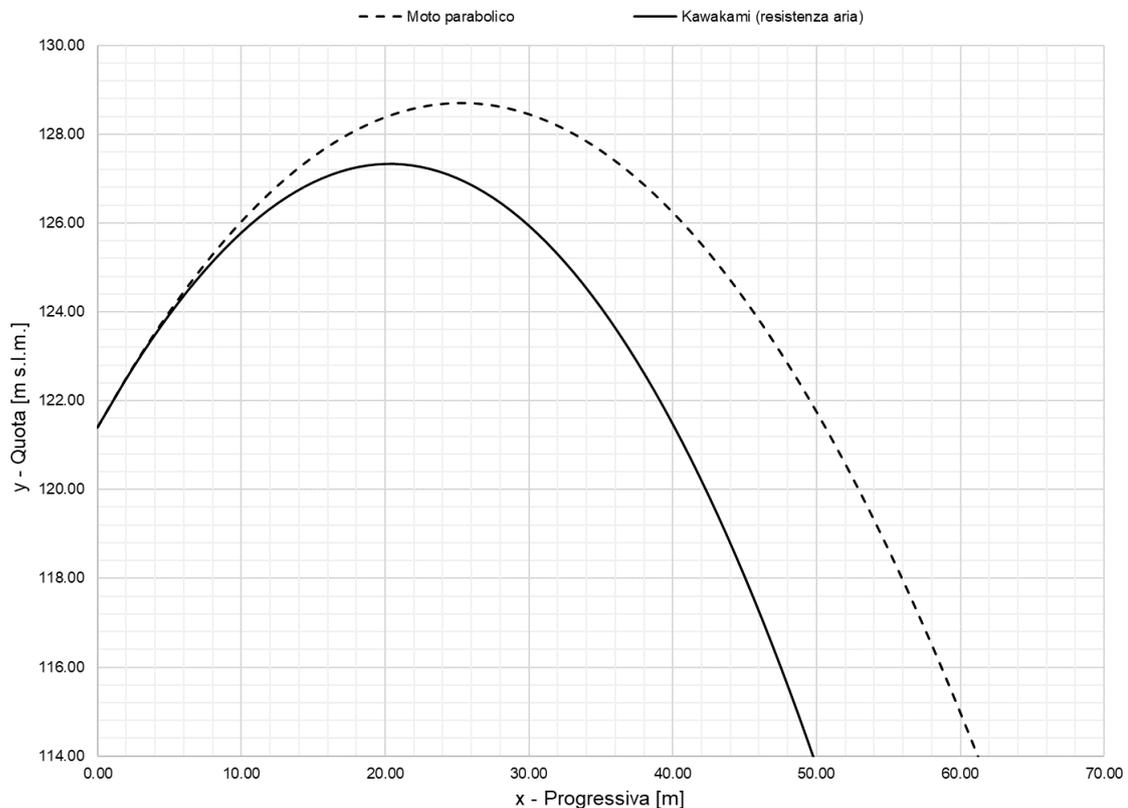


Figura 11: Traiettorie teoriche del getto d'acqua in uscita dal salto di sci in progetto.

5.3.9 Espansione laterale del getto

L'espansione laterale β_j del getto in uscita dallo ski-jump dipende, secondo Visher e Hager (1995), dal carico idraulico rispetto al labbro inferiore e dalla portata relativa calcolata secondo la seguente formula:

$$q_m = \frac{q}{(g \cdot L_s^3)^{\frac{1}{2}}}$$

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 30 di 39

dove:

L_s lunghezza della condotta di scarico [m]

q portata unitaria [$m^3/s \cdot m^{-1}$]

La stima dell'espansione laterale β_j può essere dunque effettuata mediante l'applicazione della seguente espressione:

$$\tan\beta_j = \frac{1.05 \cdot \left(\frac{d}{H}\right)^{1/2}}{\tanh(6 \cdot q_m^{1/3})}$$

Nel caso in questione, considerando una lunghezza totale dello scarico di fondo di ca. 38 m, si stima un'espansione laterale del flusso di ca. 6°, in linea con i valori tipici compresi fra 5° e 10° (rif. [34]).

5.4 Verifica delle velocità in uscita dello scarico

Le velocità massime in uscita dallo scarico di fondo sono dell'ordine di 20-25 m/s. Per questo motivo si ritiene opportuno prevedere, al fine di evitare possibili fenomeni di cavitazione ed erosione del calcestruzzo a causa delle elevate velocità, un rivestimento della superficie del salto di sci e dei muri d'ala mediante blindaggio in acciaio ad alta resistenza di spessore 15 mm.

5.5 Verifica dell'erosione a valle

5.5.1 Erosione sul fondo del fiume

La previsione della profondità di erosione D_s a valle provocata dal getto d'acqua evacuato dallo ski-jump è un'attività particolarmente complessa poiché tale processo risulta influenzato da vari fenomeni di tipo idraulico, dinamico e geomorfologico. A causa di questo, generalmente vengono applicate delle "semplici" formule empiriche per la stima preliminare della profondità massima d'erosione. In seguito, si riportano alcune delle relazioni più comunemente applicate:

1. Damle: $D_s = 0.55 \cdot (q \cdot H_w)$

2. Martins: $D_s = 1.5 \cdot q^{0.60} \cdot E^{0.1}$

3. Veronese: $D_s = 1.9 \cdot q^{0.54} \cdot H_w^{0.1}$

4. Chian Min Wu: $D_s = 1.18 \cdot q^{0.51} \cdot H_w^{0.235}$

dove:

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 31 di 39

D_s profondità d'erosione misurata a partire dal livello idrico di valle [m]

q portata di efflusso unitaria [m^2/s]

H_w carico idraulico a monte misurato rispetto al livello idrico di valle [m]

E_w carico idraulico a monte misurato rispetto all'invert del salto di sci [m]

Con il fine di realizzare un'analisi di sensitività, le portate in efflusso considerate per il calcolo della profondità di erosione variano tra il valore massimo coincidente con la portata di progetto $Q_d = 86.70 m^3/s$ (invaso alla quota di massima regolazione 164.00 m s.l.m.) ed il valore minimo $Q = 61.88 m^3/s$ (invaso alla quota di minima regolazione 143.00 m s.l.m.). I livelli idrici a valle sono stati invece determinati in funzione delle portate complessive in uscita dagli scarichi della diga per i vari livelli d'invaso ipotizzati monte (rif. [10]). I risultati così ottenuti si riportano nella **Tabella 5**:

Liv. monte [m s.l.m.]	Q fondo [m^3/s]	Q totale [m^3/s]	Liv. valle [m s.l.m.]	D_s				
				Damle [m]	Chian Min Wu [m]	Martins [m]	Veronese [m]	Media [m]
164.00	86.70	847.06	120.55	23.87	19.57	21.02	33.98	24.61
160.00	82.55	278.73	118.7	22.71	18.86	20.21	32.72	23.63
150.00	78.18	209.55	118.4	19.33	17.23	19.01	29.92	21.37
143.00	61.88	153.43	118.1	15.27	14.46	16.08	24.99	17.70

Tabella 5: Profondità d'erosione D_s in funzione della portata di efflusso dallo scarico di fondo e della relazione considerata.

Le formulazioni considerate restituiscono una valutazione della profondità d'erosione relativa a delle condizioni stazionarie, i.e. relativa ad una portata d'efflusso costante lungo un intervallo di tempo abbastanza ampio per permettere al fenomeno erosivo di raggiungere uno stato d'equilibrio. Tuttavia, rispetto alla durata totale d'esercizio dell'opera, l'apertura dello scarico di fondo si verificherà solo sporadicamente, ovvero nel caso di un suo utilizzo per l'ipotetico vuotamento dell'invaso (funzionamento ordinario) o nella condizione eccezionale di smaltimento di un evento di piena (funzionamento straordinario). Pertanto, è ragionevole aspettarsi che il fenomeno erosivo non avrà mai la possibilità di svilupparsi completamente e raggiungere dunque la situazione d'equilibrio per la quale la profondità d'erosione eguaglia gli elevati valori indicati dalle formule empiriche di cui sopra.

A conferma di questo, basta soffermarsi a verificare l'entità dell'erosione provocata dagli scarichi a battente della diga durante l'intero periodo di operazione, e rendersi conto così che nessun particolare fenomeno erosivo si è manifestato a valle dell'opera. Per dar prova di quanto enunciato, prendiamo

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 32 di 39

ad esempio in considerazione lo scarico di mezzofondo della diga, caratterizzato da una capacità idraulica pari a ca. il doppio rispetto a quella del nuovo scarico di fondo ed ubicato ca. 17 m al di sopra rispetto ad esso. Nonostante tale organo risulti in operazione da ormai quasi 100 anni, l'erosione manifestatasi a valle risulta molto contenuta, inclusa l'entità dovuta all'ultimo evento eccezionale (gennaio 2021) durante il quale lo scarico di mezzofondo è stato mantenuto aperto per un intervallo temporale relativamente esteso.

5.5.2 Erosione sulle sponde

Nel rapporto geologico [9] si indica la presenza di una zona di dissesto a valle diga in sponda destra interessata da crolli in roccia avvenuti a seguito dell'impatto del getto dello scarico di mezzofondo, durante l'operazione del gennaio 2021, contro lo sperone di granito ubicato circa 60 m a valle dell'opera.

Tale situazione non pone in alcun rischio la stabilità della diga, tuttavia genera condizioni di pericolo per gli edifici tecnici e di servizio immediatamente prospicienti il punto del crollo e che potrebbero essere interessati da ulteriori crolli direttamente sul piano di fondazione.

A causa di questo, data la vicinanza del nuovo scarico di fondo rispetto alla sponda destra, si ritiene opportuno assumere degli accorgimenti al fine di evitare che il getto in uscita possa andare ad impattare contro lo sperone in roccia. Per far ciò si è deciso dunque di progettare l'opera affinché i flussi siano direzionati verso il centro dell'alveo. In particolare sono stati presi i seguenti provvedimenti:

- deviazione del tratto finale dello scarico di fondo in orizzontale di tre gradi rispetto alla direzione monte-valle (v. **Figura 12**);

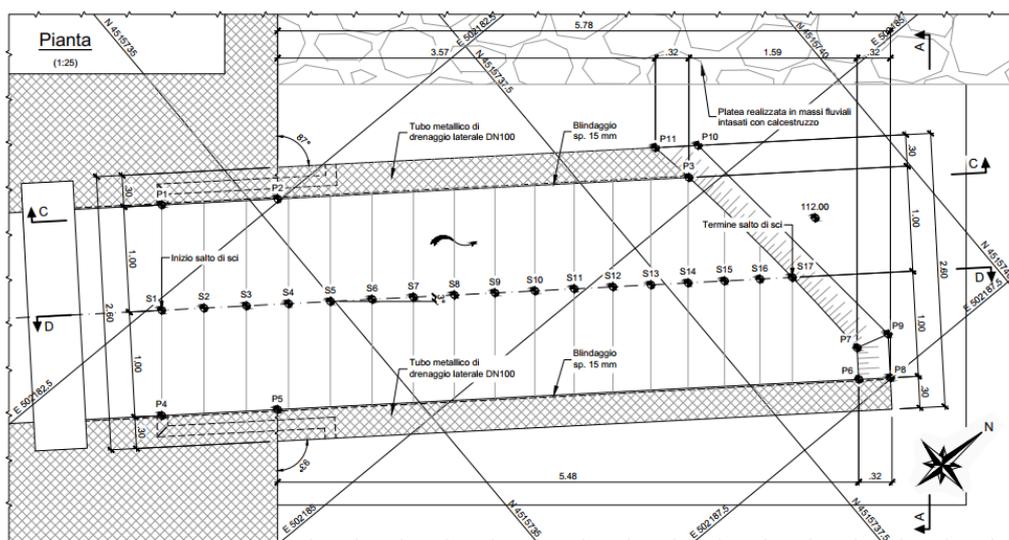


Figura 12: Deviazione in orizzontale dello scarico di fondo in progetto.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 33 di 39

- andamento obliquo del labbro inferiore del salto di sci con inclinazione negativa verso la sponda sinistra (v. **Figura 13**).

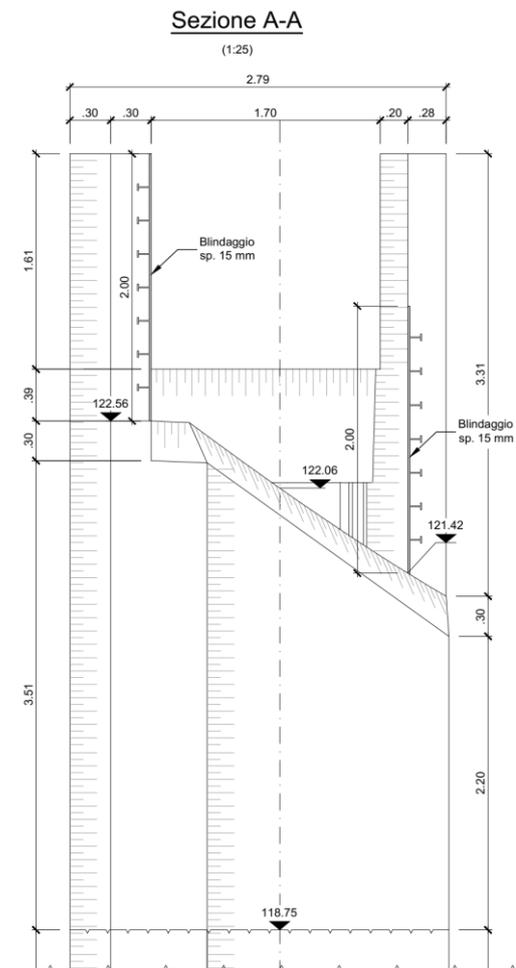


Figura 13: Abbassamento della quota del labbro inferiore del salto di sci.

Relativamente a quest'ultima accortezza è stato dimostrato da Lombardi, attraverso prove effettuate su modelli fisici di opere in contesti similari, che la diminuzione progressiva della quota superiore del labbro lungo lo sviluppo trasversale del salto di sci fa sì che il flusso tenda a curvare nella direzione in cui si verifica l'abbassamento. Oltre a questo, si è dimostrato che tale configurazione favorisce la dissipazione dell'energia cinetica del flusso in uscita dallo scarico.

A valle di quanto detto, è lecito attendersi che il getto non vada ad interferire con lo sperone in sponda destra. Per questo motivo si escludono possibili rischi per gli edifici tecnici e di servizio prospicienti la zona derivanti dalle portate smaltite dallo scarico di fondo in progetto.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 34 di 39

5.5.3 Configurazione finale del salto di sci

Le verifiche idrauliche descritte nei precedenti paragrafi hanno portato alla definizione della seguente geometria per il salto di sci dello scarico di fondo in progetto:

- Quota invert del salto: 120.10 m s.l.m
- Quota max. del labbro inferiore: 122.56 m s.l.m
- Quota min. del labbro inferiore: 121.42 m s.l.m
- Angolo di deviazione orizzontale: 3°C
- Raggio del salto: 10.00 m
- Angolo d'uscita α : 30°C
- Angolo rispetto al labbro inferiore β : 60°C

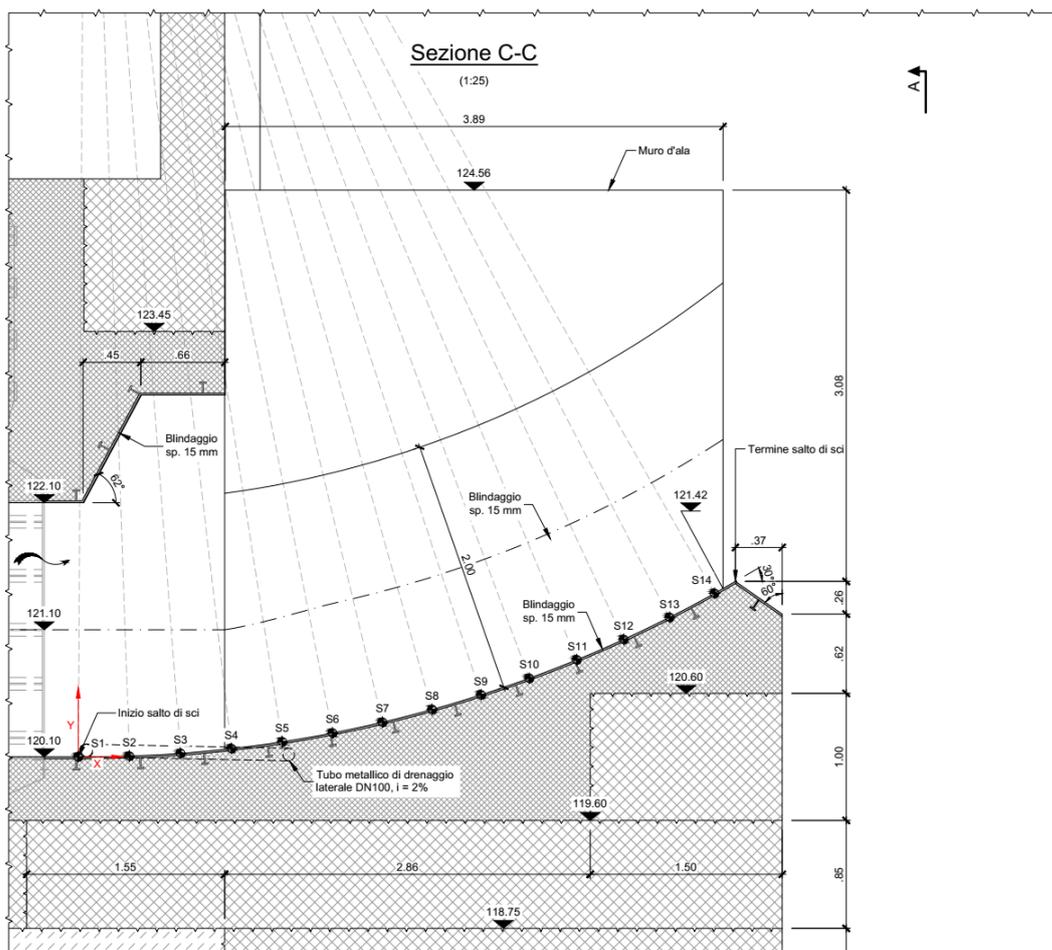


Figura 14: Configurazione finale del salto di sci.

La geometria di dettaglio del salto di sci è rappresentata nelle tavole progettuali 2020.0240.002-GC-DIG-DW-111 e 112 ([20], [21]).

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 35 di 39

6. CONCLUSIONI

Nell'ambito del progetto esecutivo per il ripristino dello scarico di fondo della diga di Muzzone, Enel GP ha incaricato Lombardi SA per la modellazione idraulica dell'alveo a valle della diga e per l'aggiornamento degli studi di propagazione delle onde di piena a seguito dei lavori di ripristino dello scarico di fondo. Da questa modellazione sono stati ricavati gli elementi di conoscenza del comportamento idraulico dell'alveo utilizzati per le scelte di progetto esecutivo del nuovo scarico di fondo, con alcune varianti rispetto all'assetto del progetto definitivo.

Obiettivo del presente rapporto è descrivere gli aspetti idraulici inerenti al nuovo scarico di fondo nella configurazione prevista dalle scelte del progetto esecutivo.

La configurazione secondo il progetto esecutivo prevede le seguenti varianti rispetto al definitivo approvato:

- innalzamento dello sbocco, con quota terminale dell'asse che passa dalla quota 113.10 m s.l.m alla quota 121.20 m s.l.m.
- recapito in aria a mezzo di uno ski jump, ai fini dissipativi per il controllo delle erosioni nell'alveo a valle della diga

La curva d'invaso considerata nel presente studio è stata ottenuta attraverso l'unione delle seguenti leggi che legano le altezze ai volumi d'acqua del serbatoio:

- curva d'invaso secondo batimetria URS 2011: per altezze inferiori alla quota 164.0 m s.l.m
- curva d'invaso secondo studio idrologico 2018 [6] : per altezze superiori alla quota 164.0 m s.l.m.

Le verifiche idrauliche descritte nel presente rapporto sono servite alla definizione dei seguenti aspetti:

- calcolo delle perdite di carico lungo il tracciato del nuovo scarico di fondo.
- determinazione, per qualsiasi regime di funzionamento, della scala di deflusso delle portate in uscita dal nuovo scarico di fondo, esplicitando chiaramente i parametri inseriti e le formule adottate per la definizione del comportamento a flusso libero ed in pressione, con apertura parziale e completa delle paratoie piane dell'organo.
- determinazione della geometria ottimale del salto di sci terminale;
- valutazione del fenomeno erosivo a valle generato dall'impatto del getto in uscita dallo scarico con il letto del fiume.

Lo studio è stato realizzato in conformità con la normativa attuale [22], nonché secondo quanto riportato nei documenti di letteratura tecnica indicati nella bibliografia.

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 36 di 39

ALLEGATO A

Tabulazione della scala di deflusso delle portate

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 37 di 39

Apertura (a) paratoie	a=0.4 m	a=0.8 m	a=1.2 m	a=1.6 m	a=2.0 m
Quota invaso [m s.l.m.]	Q [m ³ /s]				
170.00	23.38	44.96	63.72	79.30	92.58
169.50	23.26	44.73	63.38	78.88	92.11
169.00	23.13	44.49	63.05	78.46	91.63
168.50	23.01	44.25	62.71	78.04	91.15
168.00	22.89	44.02	62.37	77.62	90.66
167.50	22.76	43.78	62.03	77.19	90.18
167.00	22.64	43.54	61.69	76.76	89.69
166.50	22.52	43.29	61.34	76.33	89.20
166.00	22.39	43.05	60.99	75.90	88.71
165.50	22.26	42.81	60.65	75.46	88.21
165.00	22.14	42.56	60.29	75.02	87.71
164.50	22.01	42.31	59.94	74.58	87.21
164.00	21.88	42.06	59.59	74.14	86.70
163.50	21.75	41.81	59.23	73.69	86.20
163.00	21.62	41.56	58.87	73.24	85.68
162.50	21.49	41.31	58.51	72.79	85.17
162.00	21.36	41.05	58.14	72.34	84.65
161.50	21.23	40.79	57.78	71.88	84.13
161.00	21.09	40.54	57.41	71.42	83.61
160.50	20.96	40.28	57.04	70.96	83.08
160.00	20.82	40.01	56.67	70.49	82.55
159.50	20.69	39.75	56.29	70.02	82.02
159.00	20.55	39.48	55.91	69.55	81.48
158.50	20.41	39.22	55.53	69.07	80.94
158.00	20.27	38.95	55.15	68.60	80.40
157.50	20.13	38.68	54.76	68.11	79.85
157.00	19.99	38.41	54.37	67.63	79.30
156.50	19.85	38.13	53.98	67.14	78.74
156.00	19.71	37.85	53.59	66.65	78.18
155.50	19.56	37.58	53.19	66.15	77.62
155.00	19.42	37.29	52.79	65.65	77.05
154.50	19.27	37.01	52.39	65.14	76.48
154.00	19.13	36.73	51.98	64.64	75.90
153.50	18.98	36.44	51.57	64.12	75.32
153.00	18.83	36.15	51.16	63.61	74.74
152.50	18.68	35.86	50.74	63.09	74.15
152.00	18.53	35.56	50.32	62.56	73.55

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 38 di 39

Apertura (a) paratoie	a=0.4 m	a=0.8 m	a=1.2 m	a=1.6 m	a=2.0 m
Quota invaso [m s.l.m.]	Q [m ³ /s]				
151.50	18.37	35.27	49.90	62.03	72.95
151.00	18.22	34.97	49.47	61.50	72.35
150.50	18.07	34.67	49.04	60.96	71.74
150.00	17.91	34.36	48.61	60.42	71.12
149.50	17.75	34.05	48.17	59.87	70.50
149.00	17.59	33.74	47.73	59.32	69.88
148.50	17.43	33.43	47.28	58.76	69.25
148.00	17.27	33.12	46.83	58.20	68.61
147.50	17.10	32.80	46.37	57.63	67.97
147.00	16.94	32.48	45.91	57.05	67.32
146.50	16.77	32.15	45.45	56.47	66.66
146.00	16.60	31.82	44.98	55.89	66.00
145.50	16.43	31.49	44.51	55.29	65.33
145.00	16.26	31.15	44.03	54.69	64.66
144.50	16.08	30.81	43.54	54.09	63.97
144.00	15.91	30.47	43.05	53.47	63.28
143.50	15.73	30.13	42.56	52.85	62.58
143.00	15.55	29.77	42.06	52.23	61.88
142.50	15.36	29.42	41.55	51.59	61.17
142.00	15.18	29.06	41.04	50.95	60.44
141.50	14.99	28.70	40.52	50.30	59.71
141.00	14.80	28.33	39.99	49.64	58.97
140.50	14.61	27.95	39.46	48.97	58.22
140.00	14.42	27.58	38.92	48.29	57.46
139.50	14.22	27.19	38.37	47.61	56.69
139.00	14.02	26.80	37.81	46.91	55.91
138.50	13.82	26.41	37.25	46.20	55.12
138.00	13.61	26.01	36.67	45.48	54.32
137.50	13.40	25.60	36.09	44.75	53.51
137.00	13.19	25.19	35.50	44.01	52.68
136.50	12.97	24.77	34.90	43.26	51.84
136.00	12.76	24.34	34.28	42.49	50.99
135.50	12.53	23.90	33.66	41.71	50.12
135.00	12.31	23.46	33.02	40.91	49.23
134.50	12.07	23.01	32.38	40.10	48.33
134.00	11.84	22.55	31.72	39.27	47.42
133.50	11.60	22.08	31.04	38.42	46.48

	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>Relazione idraulica</i>	CODICE INTERNO 2020.0240.002-ID-DIG-RT-102
		Data 07/03/2023
		Pagina 39 di 39

Apertura (a) paratoie	a=0.4 m	a=0.8 m	a=1.2 m	a=1.6 m	a=2.0 m
Quota invaso [m s.l.m.]	Q [m ³ /s]				
133.00	11.35	21.60	30.35	37.56	45.53
132.50	11.10	21.11	29.65	36.67	44.55
132.00	10.84	20.60	28.92	35.76	43.55
131.50	10.58	20.09	28.18	34.83	40.58
131.00	10.31	19.56	27.42	33.88	34.17
130.50	10.03	19.01	26.64	28.20	28.20
130.00	9.75	18.45	22.71	22.71	22.71
129.50	9.45	17.70	17.70	17.70	17.70
129.00	9.15	13.20	13.20	13.20	13.20
128.50	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25
128.00	5.88	5.88	5.88	5.88	5.88
127.50	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
127.00	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
126.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella A 1: Risultati numerici della scala di deflusso delle portate dello scarico di fondo in progetto.