

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
	Pagina 1 di 39	

## Impianto Idroelettrico di Cucchinadorza

Renewable Energies Italy - O&M Hydro Italy  
 Northern Central Area - Territorial Unit Cagliari – UE Coghinas  
 Comune di Ollolai, Ovodda, Gavoi, Teti (NU)

## Progetto di riparazione locale per ripristino dello scarico di fondo (ai sensi del DM 2014 H2.3)

### Progetto Definitivo

### Relazione Tecnica Generale

<b>IL COMMITTENTE</b>  <b>ENEL GREEN POWER ITALIA SRL</b> Renewable Energies Italy O&M Hydro Italy Northern Central Area		167/04/2024	
		DATA	ING. M. SESSEGO
<b>IL PROGETTISTA</b> <b>LOMBARDI SA</b>  <b>Lombardi SA Ingegneri Consulenti</b> Via del Tiglio 2, P.O. Box 934 6512 Bellinzona-Giubiasco (Svizzera)		17/04/2024	
		DATA	ING. M. BRAGHINI
<b>IL DIRETTORE LAVORI</b>	<b>L' INGEGNERE RESPONSABILE PER PRESA VISIONE</b>	<b>IL PROGETTISTA SPECIALISTICO</b>	
	17/04/2024	17/04/2024	
DATA	DATA	ING. A. FREZZA	DATA ING. A. GIUSTI

LOMBARDI SA INGEGNERI CONSULENTI



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

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>2</b> di <b>39</b>

03	17.04.2024	MFr/AGi	MFr
02	16.02.2024	MMe	AGi/MFr
01	12.01.2024	Sok/MMe	AGi/MFr
00	15.12.2023	Sok/MMe	AGi/MFr
<b>Versione</b>	<b>Data</b>	<b>Redatto</b>	<b>Verificato</b>

**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 Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>3 di 39</b>

## INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
1.1	Contesto generale e scopo del lavoro	4
1.2	Struttura del rapporto	4
1.3	Documenti analizzati	5
1.4	Elaborati di progetto	6
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	7
2.1	Tipologia e consistenza della diga di Cucchinadorza	7
2.2	Curve d'invaso diga di Cucchinadorza	10
2.3	Stato di fatto dell'opera	11
3.	STATO DI PROGETTO	20
3.1	Premessa	20
3.2	Descrizione della soluzione tecnica	20
3.3	Sistema di iniezione ad aria compressa	26
4.	ASPETTI PROGETTUALI	32
4.1	Premessa	32
4.2	Aspetti idraulici	32
4.3	Aspetti strutturali di calcolo	32
5.	CANTIERISTICA	34
5.1	Realizzabilità operativa e cantiere	34
5.2	Sistema di trattamento delle acque reflue	36
5.3	Fasi di montaggio delle carpenterie metalliche	36
6.	STIMA DEI TEMPI	39

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>4</b> di <b>39</b>

# 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, ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale specialistico di ingegneria per la Progettazione Definitiva della riattivazione dello scarico di fondo della diga di Cucchinadorza, sita al confine fra i Comuni di Ollolai (NU) e Teti (NU).

L'opera idraulica fa parte dell'asta idroelettrica del Taloro, maggior affluente del Tirso. Lo sfruttamento del Taloro a fini idroelettrici è realizzato attraverso tre impianti idroelettrici in cascata, alimentati in sequenza dalle dighe di Gusana, Cucchinadorza e Benzzone: lo schema idroelettrico è interamente gestito da Enel GP.

Lo scarico di fondo della diga è costituito da due tubazioni metalliche, inserite nel corpo diga in fase di costruzione, ognuna munita sul lato di monte di una paratoia piana di intercettazione e di un'opera di captazione in calcestruzzo, con bocche di presa frontale e superiore protette da griglie.

A causa di un danneggiamento in manovra del gargame superiore della paratoia di intercettazione, con un conseguente difetto di tenuta, lo scarico sinistro è rimasto inutilizzato dal 2013.

In queste condizioni la capacità di efflusso dello scarico di fondo è ridotta al 50%: Enel GP desidera riattivare lo scarico sinistro della diga.

L'obiettivo della presente Relazione Tecnica è quello di presentare, per la fase di **Progettazione Definitiva**, una descrizione generale dello stato di fatto dell'opera e degli interventi previsti in progetto, così come delle attività svolte in fase progettuale, rimandando per maggiori dettagli agli specifici elaborati, parte integrante del Progetto Definitivo.

## 1.2 Struttura del rapporto

Il presente rapporto ha la seguente struttura:

- **Capitolo 1:** riporta una breve introduzione all'attività e i principali documenti di riferimento;
- **Capitolo 2:** descrive brevemente le caratteristiche della diga esistente e lo stato di fatto dello scarico di fondo;
- **Capitolo 3:** presenta una breve descrizione degli interventi proposti;
- **Capitolo 4:** descrive i principali aspetti progettuali considerati per l'elaborazione del presente Progetto Definitivo;

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>5</b> di <b>39</b>

- **Capitolo 5:** presenta l'organizzazione del cantiere;
- **Capitolo 6:** presenta la stima dei tempi per la realizzazione dell'opera.

### 1.3 Documenti analizzati

#### 1.3.1 Documenti di istruttoria

Nella redazione del rapporto è stato fatto riferimento ai documenti elencati nel seguito, ottenuti come documentazione d'incarico da ENEL:

- [1] 1995, Servizio nazionale dighe, Diga di Cucchinadorza nei comuni di Teti e Ollolai (NU), Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione.
- [2] 2015, Enel – URS, Bacino di Cucchinadorza, Teti e Ollolai (NU), Progetto di Gestione – Caratterizzazione di base.
- [3] Scheda tecnica dell'opera, estratto da Enel Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani Vol. V, Roma 1984.
- [4] Documentazione fotografica durante la costruzione della diga di Cucchinadorza, Leporati 1961.
- [5] Documentazione fotografica del sopralluogo eseguito da Lombardi SA sulla diga di Cucchinadorza, 17 marzo 2022.
- [6] Lombardi: 2021.0431.002-GC-GEN-ST-001.01 – Riattivazione dello scarico di fondo – Rilievo subacqueo dell'opera di imbocco – Specifiche Tecniche.
- [7] Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione (F.C.E.M.) – Diga di Cucchinadorza nei comuni di Teti e Ollolai (NU).

#### 1.3.2 Riferimenti normativi

- [8] 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.
- [9] ITCOLD Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe: Dispositivi di intercettazione e scarico – 2021.
- [10] ASCE – Steel Penstock, Second Edition (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 79)
- [11] C.E.C.T., Recommendations for the Design, Manufacture and Erection of Steel Penstocks of Welded Construction for Hydro Electric Installations, 1984.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>6 di 39</b>

#### 1.4 Elaborati di progetto

Il Progetto Definitivo in oggetto è costituito degli elaborati riportati nel documento “2021.0431.002-GE-GEN-EE-100 – Elenco Elaborati”.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>7</b> di <b>39</b>

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 2.1 Tipologia e consistenza della diga di Cucchinadorza

Lo sbarramento di Cucchinadorza è costituito da una diga a gravità massiccia ordinaria, in calcestruzzo (classificazione Aa1 secondo D.P.C.M del 26 giugno 2014, NTD2014).

La parte centrale in corrispondenza dello scarico di superficie risulta sagomata secondo un profilo Creager, con sviluppo di 36.00 m. Il piede di valle della parte tracimabile è sagomato secondo un profilo cilindrico con raggio 5.00 m risalente verso valle.

Il corpo murario è diviso da giunti permanenti di costruzione, in conci aventi larghezza 16.00 m. I giunti sono ispezionabili per tutta l'altezza a mezzo di pozzi aventi diametro 80 cm.

Due cunicoli longitudinali, posti a diversa quota, permettono l'ispezione dell'interno della massa muraria e la raccolta delle acque di filtrazione, drenate quest'ultime da un sistema costituito da tubi verticali del diametro di 20 cm, interasse 4.00 m, posti ad una distanza minima dal paramento di monte, in corrispondenza del coronamento, di 1.90 m.

Nella parte inferiore della galleria perimetrale inferiore recapita le acque raccolte anche il sistema di riduzione delle sottopressioni, realizzato con tubi verticali posti in fondazione ad interasse di 4.00 m ed aventi diametro 10 cm.

Il lago, dalla forma allungata e irregolare a "virgola", si estende sui confini dei comuni di Teti, Ollolai e Ovodda. La superficie del lago è di circa 1.23 km<sup>2</sup> e l'altitudine è circa 350 m s.l.m. L'accesso alla diga di Cucchinadorza è assicurato dalla Strada Provinciale n. 4 Olzai-Teti che all'ottavo km corre sul coronamento diga.

Ai sensi del paragrafo 2 delle "Linee guida per la predisposizione dei progetti di gestione degli invasi e per l'esecuzione delle operazioni", allegato alla Delib. G.R. n. 13/12 del 04/03/2008, il bacino di Cucchinadorza è classificabile come "Grande invaso".

I parametri caratteristici dello sbarramento sono:

#### Bacino di Cucchinadorza

- Volume totale di invaso originario (ai sensi del DM 24/03/82): 20.0 hm<sup>3</sup>
- Volume totale di invaso originario (ai sensi della L. 584/94): 18.8 hm<sup>3</sup>
- Volume utile di regolazione originario: 16.45 hm<sup>3</sup>
- Volume di laminazione originario: 1.2 hm<sup>3</sup>
- Portata massima piena di progetto: 1'800 m<sup>3</sup>/s

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>8</b> di <b>39</b>

– Bacino imbrifero sotteso: 108 km<sup>2</sup>

#### Diga di Cucchinadorza

- Tipologia sbarramento: Diga muraria a gravità (Aa1)
- Impianto idroelettrico alimentato: Centrale di Badu Ozzana
- Quota coronamento: 351.50 m s.l.m.
- Quota di massimo invaso: 349.00 m s.l.m.
- Quota di massima regolazione: 348.00 m s.l.m.
- Quota di minima regolazione: 327.30 m s.l.m.
- Altezza sbarramento (ai sensi del DM 24/03/82): 51.50 m
- Altezza sbarramento (ai sensi della L. 584/94): 45.50 m
- Altezza di massima ritenuta: 41.70 m
- Sviluppo coronamento: 162.00 m
- Franco (ai sensi del DM n. 44 del 24/03/82): 2.50 m

#### Scarico di superficie della diga

N. 3 luci sfioranti con le seguenti caratteristiche:

- Larghezza complessiva: 36.00 m
- Quota soglia: 340.00 m s.l.m.
- Portata esitata con livello serbatoio: 1'940.00 m<sup>3</sup>/s (max. invaso)

#### Scarico di fondo della diga

N. 2 condotti in pressione ricavati nel corpo diga con le seguenti caratteristiche:

- Diametro: 2.00 m
- Lunghezza: 37.50 m
- Quota soglia di imbocco: 307.30 m s.l.m.
- Portata esitata con livello serbatoio: 107.00 m<sup>3</sup>/s (max. invaso)

#### Opera di presa della diga

Galleria rivestita in calcestruzzo con le seguenti caratteristiche:

- Diametro: 2.87 m
- Lunghezza: 6'930.00 m
- Quota asse di imbocco: 317.08 m s.l.m.

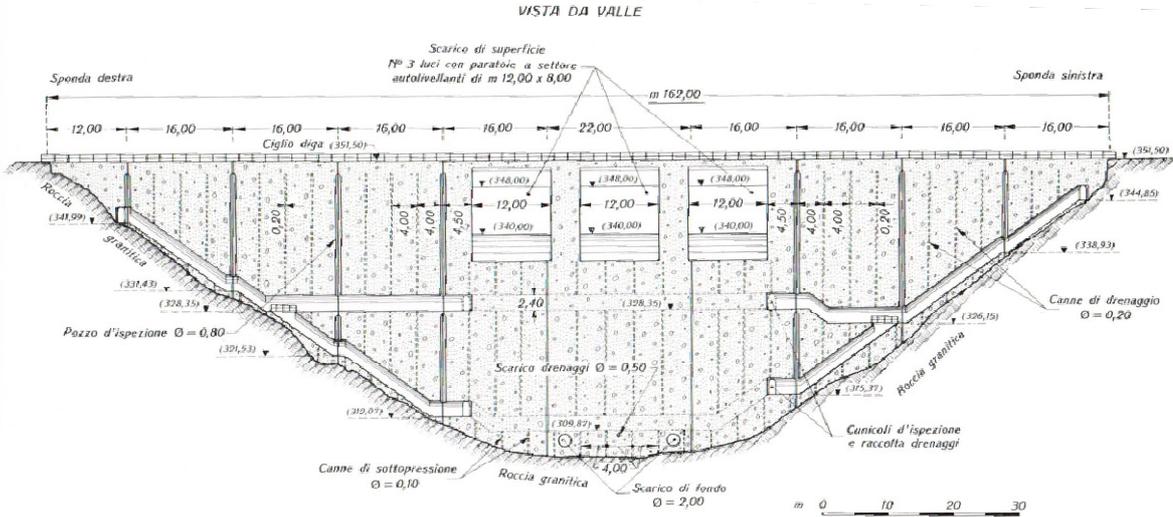


Figura 1: Sezione longitudinale della diga di Cucchinadorza (rif. [3]).

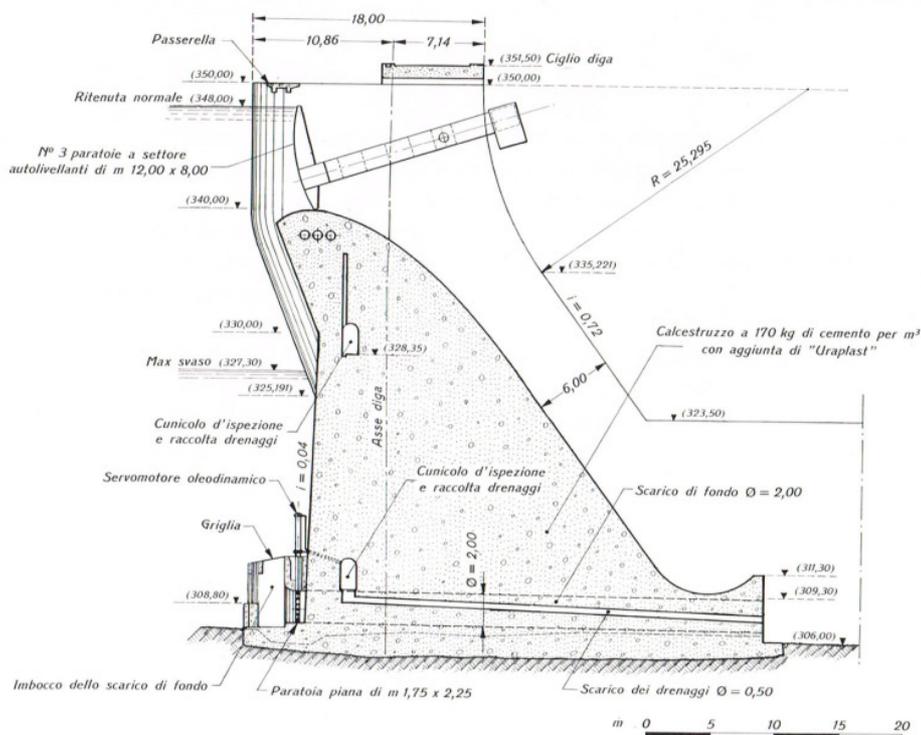


Figura 2: Sezione trasversale in corrispondenza dello sfioratore della diga di Cucchinadorza (rif. [3]).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>10 di 39</b>

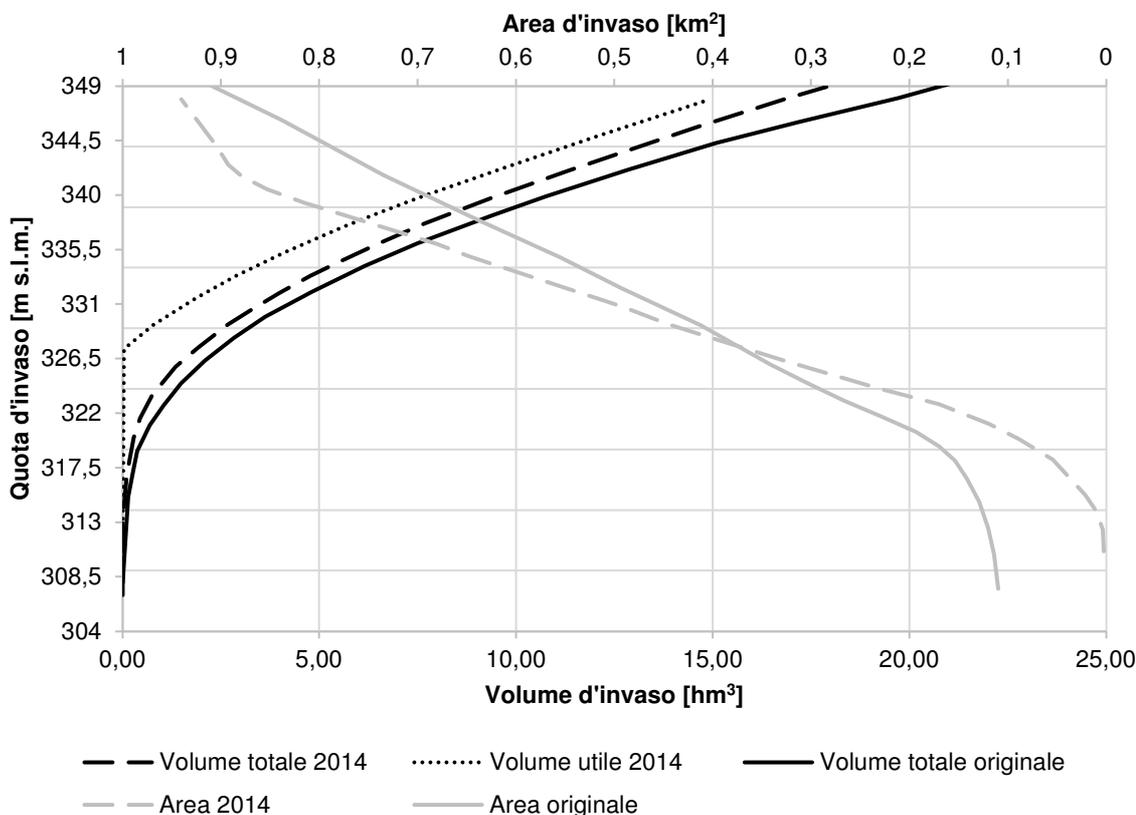
## 2.2 Curve d'invaso diga di Cucchinadorza

La curva d'invaso originale è desunta da dati pregressi risalenti al collaudo del 1964 riportati sul FCEM [7]. Secondo il documento il volume utile di invaso originale alla quota di massima regolazione (348.00 m s.l.m.), era pari a circa 16.45 hm<sup>3</sup>, mentre la capacità totale era invece pari a circa 20 hm<sup>3</sup>.

Per poter identificare il volume utile invasato al giorno d'oggi è stato stimato il volume di sedimenti accumulato sulla base del rilievo batimetrico effettuato nel mese di dicembre 2014 dalla ditta URS Italia S.p.A. in modalità single-beam (SBES). Il confronto con dati pregressi è stato fatto sulla base della curva di invaso, in quanto non risultano disponibili le curve di livello originarie. È stato di conseguenza effettuato un confronto diretto delle curve di invaso.

L'attuale volume utile di invaso alla quota di massima regolazione (348.00 m s.l.m.), è pari a circa 15.05 hm<sup>3</sup>, mentre la capacità totale è invece pari a circa 16.91 hm<sup>3</sup>. Sulla base dei dati sopraccitati, è possibile stimare un interrimento di circa 1.88 hm<sup>3</sup> corrispondente al 10% del volume totale originario, e una perdita di volume utile pari a circa 1.39 hm<sup>3</sup> (perdita dell'8.5% circa).

Si riportano di seguito le curve d'invaso sopraccitate:



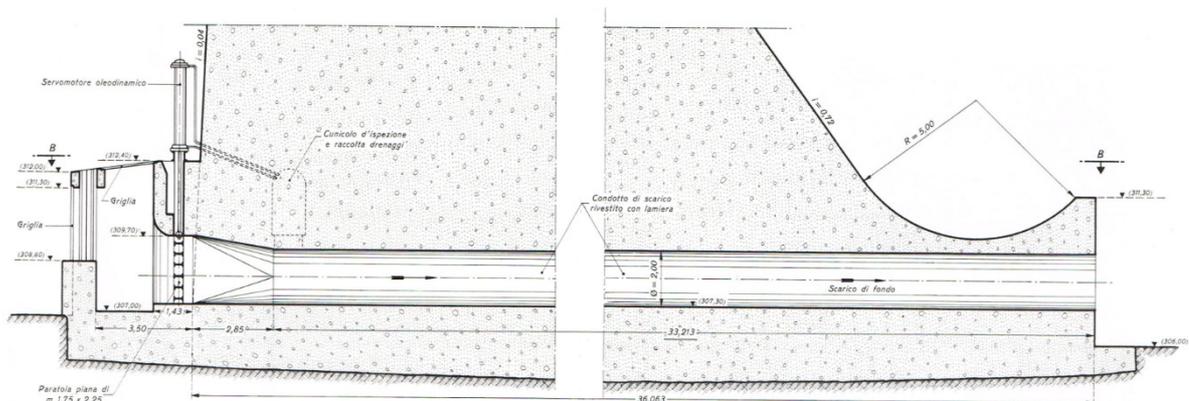
**Figura 3:** Curve d'invaso del serbatoio di Cucchinadorza.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>11</b> di <b>39</b>

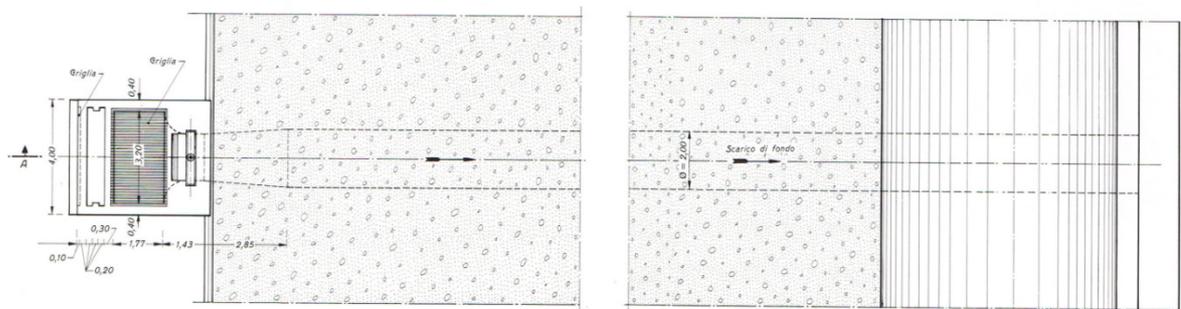
Dal grafico si osserva che la superficie del bacino, in corrispondenza della quota massima di regolazione (348.00 m s.l.m.), risulta pari a 9.5 km<sup>2</sup>. Il volume utile di regolazione del serbatoio, tra le quote 348.00 e 349.00 m s.l.m., è ca. 1.20 hm<sup>3</sup>.

### 2.3 Stato di fatto dell'opera

La diga di Cucchinadorza è munita di due scarichi di fondo, realizzati con tubazione metallica attraverso il corpo diga, provvisti di un'opera di presa scatolare a monte ed intercettati ognuno da una singola paratoia piana azionata da un servomotore idraulico e collocata sul paramento di monte, in posizione normalmente immersa. Come descritto in precedenza, ciascuna condotta presenta l'imbocco alla quota 307.30 m s.l.m. e si caratterizza per un diametro di 2.00 m ed una lunghezza di 37.50 m (vedi **Figura 4** e **Figura 5**, rif. [3]). La capacità totale dello scarico risulta, da informazioni ricavabili dal F.C.E.M. [7], pari a 107 m<sup>3</sup>/s nel caso di serbatoio alla quota di massimo invaso di 349.00 m s.l.m.



**Figura 4:** Sezione trasversale di dettaglio in corrispondenza dello scarico di fondo della diga di Cucchinadorza (rif. Anidel [3]).



**Figura 5:** Sezione orizzontale in corrispondenza del bordo superiore della struttura scatolare di presa dello scarico di fondo della diga di Cucchinadorza (rif. Anidel [3]).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>12</b> di <b>39</b>

Contrariamente a quanto rappresentato in **Figura 4** l'alimentazione oleodinamica dei due servomotori si realizza dal cunicolo intermedio alla quota 328.35 m s.l.m., dove è collocata la centralina, e non dal cunicolo più profondo alla quota 309.87 m.s.l.m.



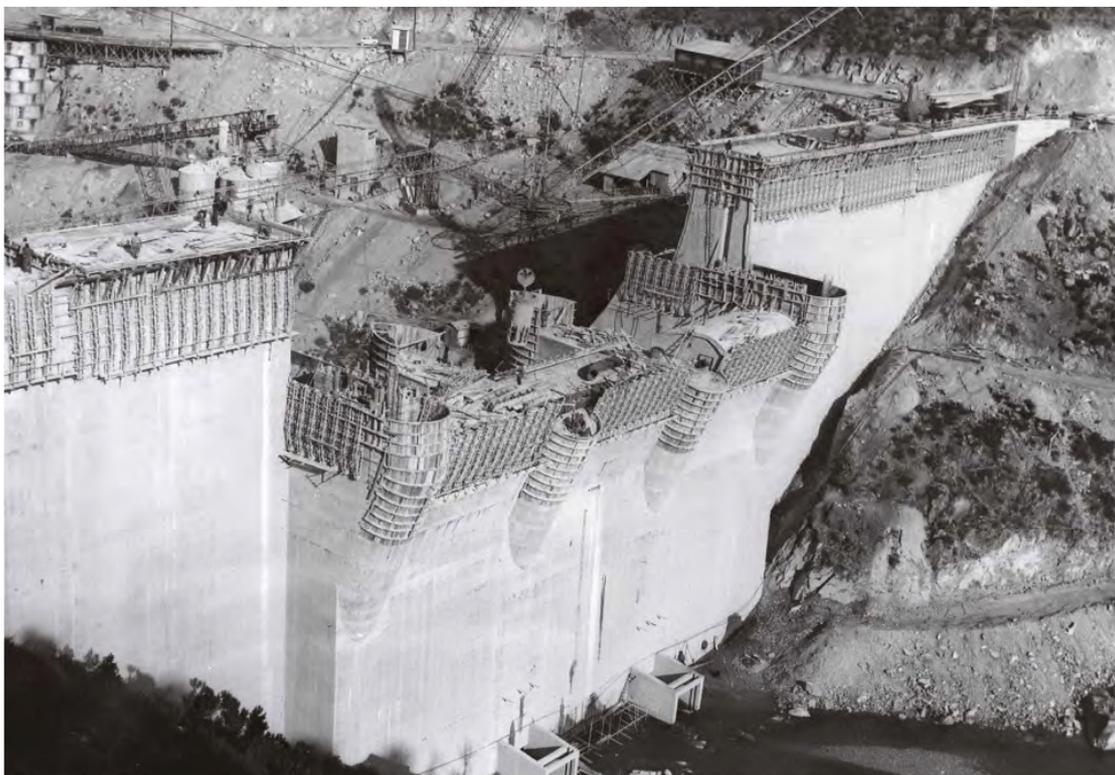
**Figura 6:** Centralina di comando delle paratoie dello scarico di fondo (17 marzo 2022).

Nelle seguenti immagini si riportano alcune foto, scattate durante la costruzione dell'opera, attraverso le quali si possono osservare le strutture scatolari all'imbocco dello scarico di fondo, attualmente immerse e probabilmente ricoperte da uno strato di sedimenti.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>13 di 39</b>



**Figura 7:** Vista da monte del ponte e della diga di Cucchinadorza durante la costruzione (Leporati '62, [4]).



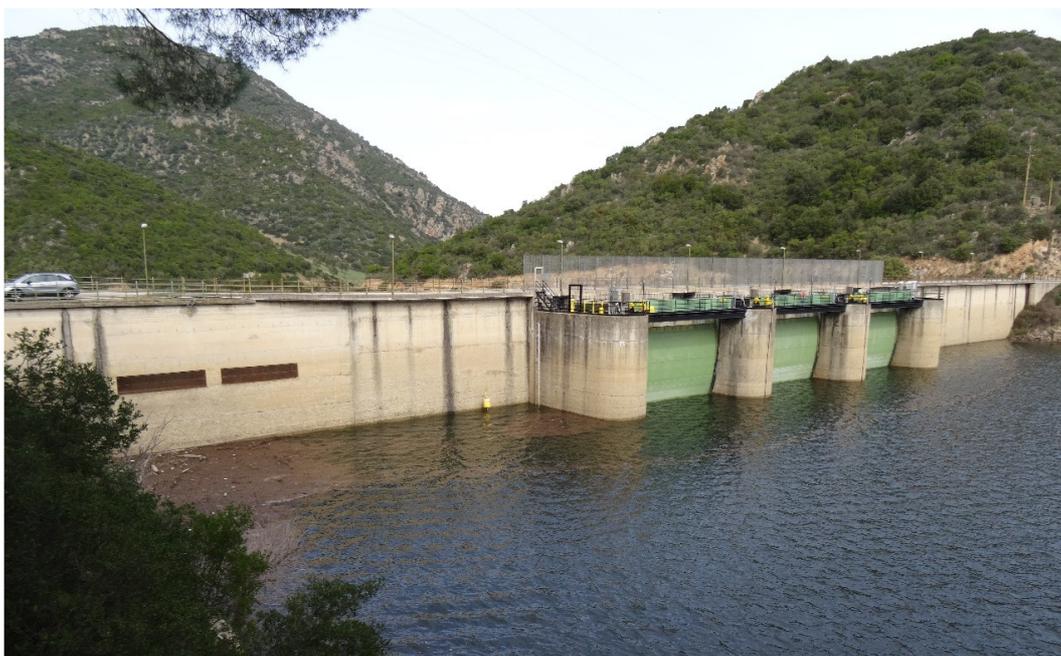
**Figura 8:** Vista da monte delle opere scolarari di presa dello scarico di fondo della diga di Cucchinadorza durante la costruzione (Leporati '62, [4]).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>14</b> di <b>39</b>



**Figura 9:** Vista da monte dello sfioratore e dell'opera scatolare di presa destra dello scarico di fondo, munita di paratoia con servomotore idraulico, della diga di Cucchinadorza (Leporati '62, [4]).

Le seguenti immagini mostrano le foto del paramento di monte e di valle della diga scattate in occasione del sopralluogo del 17 marzo 2022.



**Figura 10:** Vista da monte del paramento e delle tre luci dello sfioratore con paratoie.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>15 di 39</b>



**Figura 11:** Vista del paramento di valle della diga di Cucchinadorza.

Nel 2013 il gestore dell'impianto ha messo in atto degli interventi di manutenzione degli organi di intercettazione degli scarichi di fondo. In questa occasione sono stati rimossi i diaframmi delle paratoie di intercettazione, sottoposti a manutenzione mediante sabbiatura, ciclo di verniciatura e successivamente riposizionati. In **Figura 12** è possibile osservare uno dei diaframmi delle paratoie dello scarico in corso di installazione dopo le lavorazioni di manutenzione (al di sotto della verniciatura sono visibili alcune aree con tracce di perdita di spessori di materiale per corrosione):



**Figura 12:** Riposizionamento del diaframma della paratoia dello scarico a seguito dei lavori di manutenzione eseguiti nel 2013.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>16 di 39</b>

Dei due scarichi, quello sinistro è rimasto inutilizzato dal 2013 a causa di un danneggiamento del gargame superiore del telaio della paratoia in occasione delle prime manovre, con deformazione del listello di battuta, che ha compromesso la tenuta idraulica del sistema.

Nelle figure successive sono mostrate le venute d'acqua in corrispondenza della paratoia di intercettazione dello scarico in sinistra:



**Figura 13:** Venute d'acqua in corrispondenza del lato destro della paratoia di regolazione dello scarico di fondo sinistro, precedenti al danneggiamento del gargame superiore (intervento 2013).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>17</b> di <b>39</b>



**Figura 14:** Venute d'acqua in corrispondenza del lato sinistro della paratoia di regolazione dello scarico di fondo sinistro, precedenti al danneggiamento del gargame superiore (intervento 2013).



**Figura 15:** Perdite in corrispondenza della paratoia di regolazione dello scarico di fondo sinistro, dopo il danneggiamento conseguente alle prime manovre (intervento 2013).

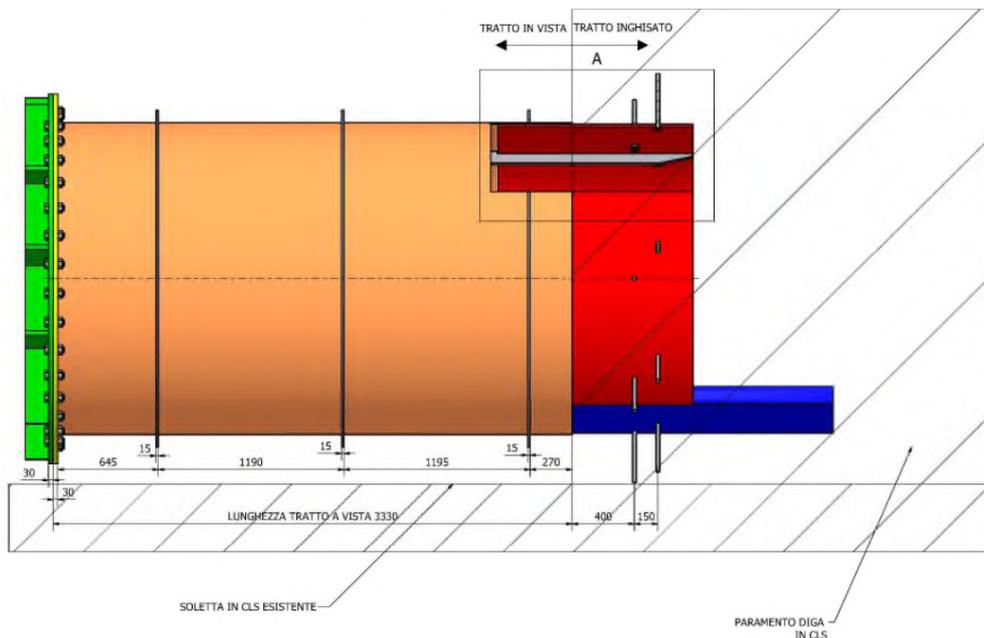
	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>18</b> di <b>39</b>

Per l'estrazione a bacino pieno della paratoia dello scarico di fondo nel 2013 è stata installata una flangia cieca in corrispondenza della sezione di sbocco.



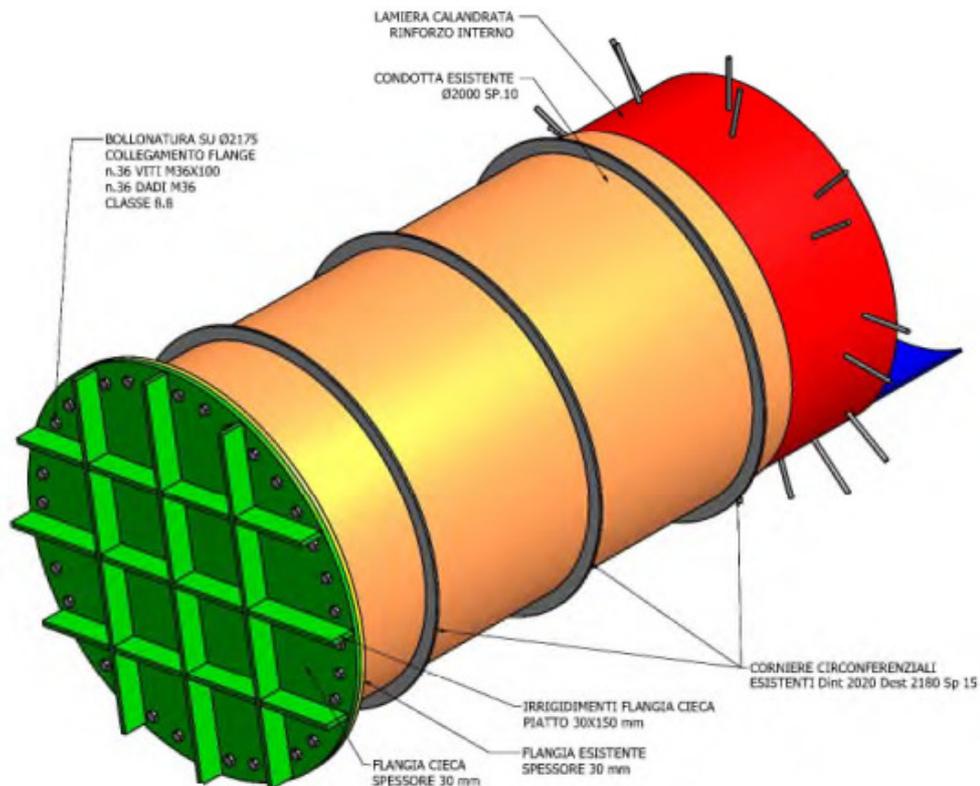
**Figura 16:** Flangia cieca di chiusura a valle dello scarico di fondo sinistro (intervento 2013).

Si riportano in **Figura 17**e **Figura 18** i dettagli esecutivi della flangia di contenimento:



**Figura 17:** Vista laterale flangia cieca di chiusura a valle dello scarico di fondo sinistro (intervento 2013).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>19 di 39</b>



**Figura 18:** Vista 3D flangia cieca di chiusura a valle dello scarico di fondo sinistro (intervento 2013).

La condizione attuale di conservazione dell'opera di imbocco e della condotta dello scarico è da accertare. Essendo stata installata negli anni 1961-1962 è possibile che le condizioni di corrosione delle lamiere, esposte in aria in ambiente saturo per lungo periodo, non ne garantiscano la continuità di tenuta per un futuro lungo periodo di esercizio.

È presumibile, inoltre, che l'entrata in funzione periodica degli scarichi, con conseguente transito di materiale solido di diversa pezzatura, abbia potuto danneggiare durante gli anni di servizio la condotta.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>20 di 39</b>

### 3. STATO DI PROGETTO

#### 3.1 Premessa

La soluzione tecnica prescelta per la riattivazione dello scarico di fondo della diga di Cucchinadorza è sviluppata prendendo in considerazione i seguenti requisiti:

- ripristino delle condizioni di sicurezza e della completa operatività dello scarico di fondo;
- sicurezza e durabilità della soluzione proposta sia durante la fase di costruzione che nella successiva fase di esercizio;
- minimizzazione dell’impatto ambientale e paesaggistico dell’intervento proposto;
- riduzione dei tempi di realizzazione dell’intervento e quindi dei tempi di indisponibilità di impianto, nel tentativo di minimizzare le perdite derivanti dal fermo forzato. L’eventuale limitazione del livello d’invaso durante i lavori ha infatti effetto sull’esercizio sia dei due impianti a monte (impianto di Cucchinadorza ed impianto di pompaggio di Taloro I) sia dell’impianto a valle (impianto di Badu Ozzana).

Per l’intervento di riattivazione dello scarico, essendo la diga di Cucchinadorza un’opera esistente in calcestruzzo, si applicano le disposizioni previste al punto H.2.3. della NTD2014 [8]. Secondo quanto indicato nella norma, l’intervento in oggetto è ascrivibile alla categoria “*Intervento locale o riparazione*” poiché i lavori previsti riguardano singole parti e/o elementi dello sbarramento e interesseranno porzioni limitate della diga. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno pertanto essere riferiti alle sole parti d’opera interessate, al fine di documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, essi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

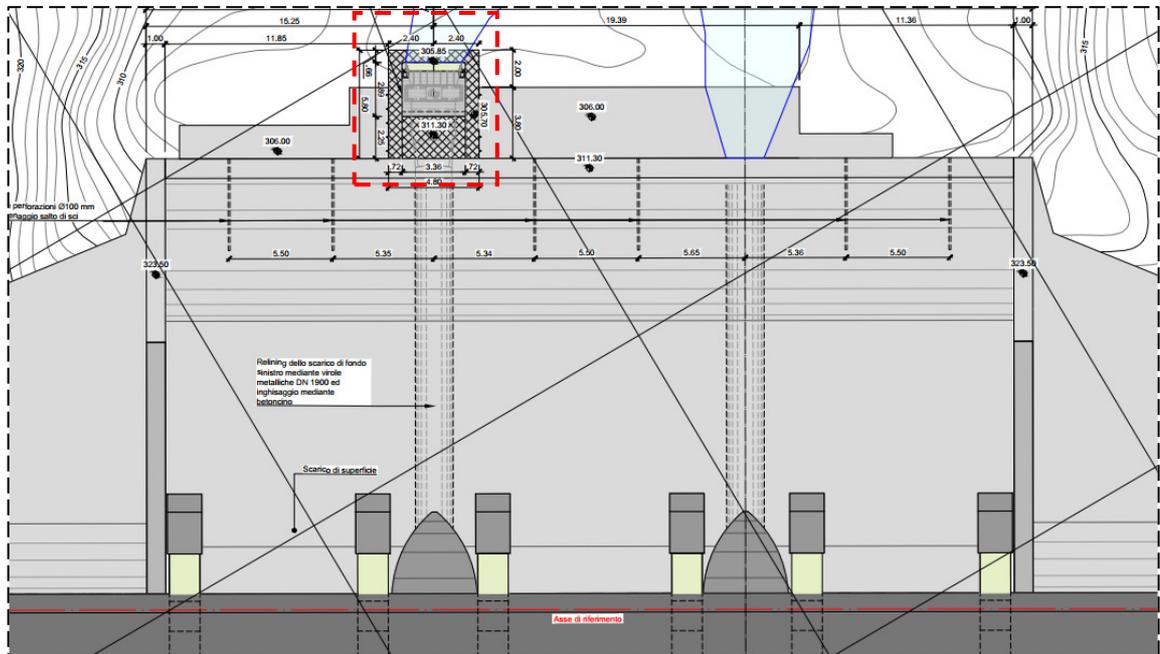
#### 3.2 Descrizione della soluzione tecnica

Al fine di garantire la sicurezza dell’impianto ed il funzionamento sincrono dello scarico di fondo nel suo complesso, la soluzione tecnica prescelta prevede di intervenire come descritto in seguito:

- Relining dello scarico sinistro mediante virole metalliche installate all’interno della tubazione esistente (D = 2’000 mm). La nuova tubazione metallica è prevista con diametro interno pari a 1’800 mm, spessore 15 mm ed annegata nella boiaccia/betoncino di riempimento utilizzato per l’inghisaggio. La scelta del diametro del nuovo rivestimento interno è stata eseguita a progetto valutando anche le prestazioni idrauliche per un diametro d=1’900 mm, quest’ultimo però ritenuto di difficile installazione per il limitato gap rispetto alla tubazione, tale da non garantire il perfetto



	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>22 di 39</b>



**Figura 21:** Stato di progetto – Pianta.

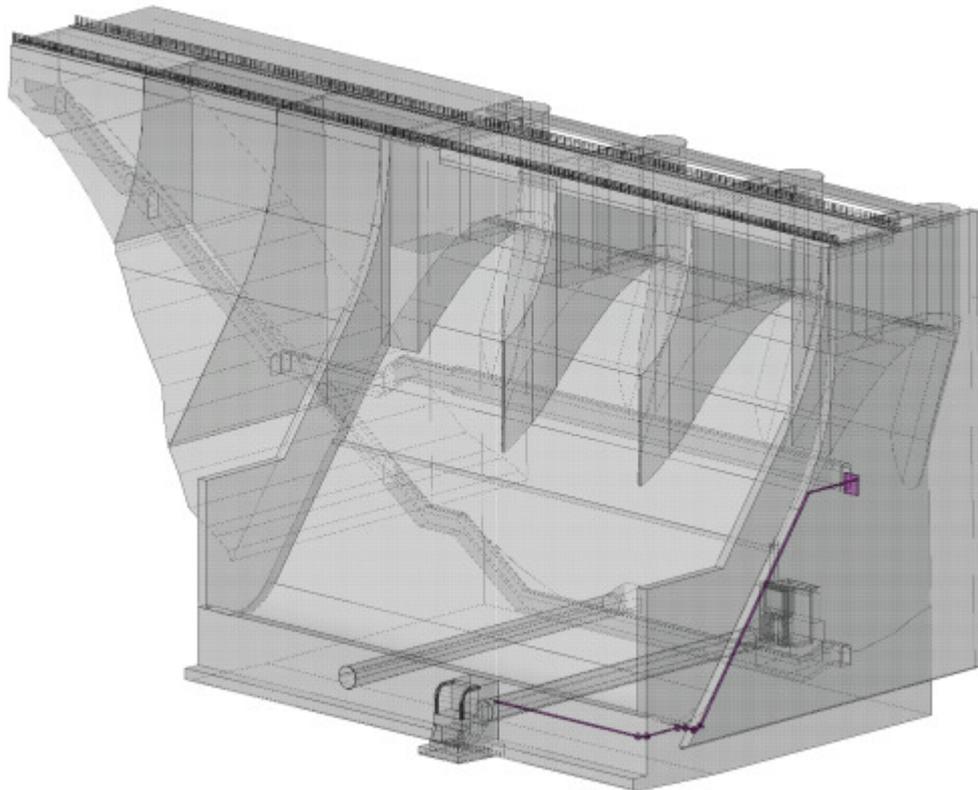
La paratoia di monte opererà regolando il flusso (mantiene la funzione di paratoia di esercizio), mentre la paratoia di valle avrà lo scopo principale di consentire la manutenzione di quella a monte (paratoia di manutenzione). Lo schema, di fatto il completamento di una soluzione tecnica esistente, è invertito rispetto ad uno schema convenzionale, dove la paratoia di monte ha la funzione di manutenzione e quella di valle la funzione di esercizio: per la nuova paratoia di valle in ogni caso ne è previsto il dimensionamento per la chiusura sotto flusso e la regolazione. La scelta tecnica consente di evitare la presenza di pressione idraulica nei condotti di scarico in corpo diga durante l'esercizio ordinario.

Al fine di contenere l'ingombro dello scarico di fondo al di sotto della quota di efflusso dello scarico di superficie della diga, la paratoia sarà preceduta da un imbocco costituito da una struttura in acciaio opportunamente sagomata con profilo ad "S". Il raccordo ha la funzione di raccolta dell'acqua uscente della condotta e deviazione del flusso, prima verso il basso e poi nella direzione dello scarico dell'acqua verso valle.



	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>24</b> di <b>39</b>

In previsione di un possibile futuro intervento anche sullo scarico di fondo in destra idraulica e al fine di garantire la sicurezza dell'impianto ed il funzionamento sincrono dello scarico di fondo nel suo complesso si predisporrà per il collegamento dei quattro servomotori oleodinamici (due paratoie nuove e due paratoie esistenti) al nuovo sistema di comando PLC. La manovra degli organi di intercettazione degli scarichi sarà effettuabile sia direttamente in posto, sia a distanza, mediante almeno due fonti indipendenti di energia, oltre che a mano come prescritto al punto C.1 della NTD2014 [8].



**Figura 23:** Passaggio linee oleodinamiche e ubicazione centralina – Vista 3D.

- Manutenzione/sostituzione gargami (e dei listelli di tenuta) deformati della paratoia esistente sullo scarico sinistro e del diaframma mediante operazioni subacquee posteriormente all'installazione della nuova paratoia di valle.
- Ripristino delle discontinuità rilevate in corrispondenza delle superfici interne ed esterne delle vasche dei galleggianti delle paratoie esistenti. L'intervento prevede il risanamento delle vie di infiltrazione d'acqua e degli intonaci interni ed esterni mediante malte strutturali impermeabili ad alta adesione preconfezionate, oltre che all'iniezione delle discontinuità sul lato interno delle

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>25 di 39</b>

vasche con resine epossidiche a medio-alta viscosità e basso modulo eseguita dall'interno dei cassoni.

Al fine di preservare dalla corrosione le opere della nuova paratoia, l'opera metallica, a valle della paratoia e che provvede alla deviazione verso l'alto degli efflussi, sarà munita, in fase di disegno costruttivo, di una fenditura verticale di drenaggio, al fine di evitare il ristagno interno di acqua dopo ogni manovra,



**Figura 24:** Ristagno d'acqua in prossimità del salto di sci dello scarico di superficie della diga.

Oltre a questo, come intervento complementare, si ritiene opportuno procedere all'inserimento di un opportuno sistema di drenaggio in corrispondenza del salto di sci dello scarico di superficie, al fine di evitare la formazione di ristagni locali (situazione attuale, **Figura 24**).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>26 di 39</b>

### 3.3 Sistema di iniezione ad aria compressa

#### 3.3.1 Generalità

Le dimensioni dell'invaso a monte della diga (Lago di Cucchinadorza) e le caratteristiche tipiche del trasporto solido degli affluenti indicano come gli accumuli nell'area antistante le opere di presa dei due scarichi di fondo siano esclusivamente di tipo fine, compresi tra limi e sabbie limose/sabbie.

A differenza delle frazioni più grandi del trasporto solido, si tratta di sedimenti il cui accumulo può essere controllato da manovre periodiche di verifica del funzionamento dello scarico di fondo, anche per brevi periodi. Una manovra progressiva di apertura consente un controllo almeno parziale delle concentrazioni di sedimenti rilasciate a valle, in particolare se eseguita con periodicità (ad esempio semestrale, in occasione delle visite di controllo dell'Autorità di Sorveglianza, UTD di Cagliari della DGD) e con breve durata, e se necessario, ripetuta in occasione degli eventi di piena con sfioro sullo scarico di superficie.

Una possibilità per consentire rimozione dei sedimenti accumulati all'interno della condotta dello scarico è l'inserimento di dispositivi per la pulizia direttamente all'interno della stessa: è infatti l'accumulo di materiale all'interno della tubazione, in un volume relativamente limitato di acqua ferma per lunghi periodi, piuttosto che l'accumulo sul fondo del bacino di fronte all'imbocco, che crea il volume di sedimento sovra consolidato con comportamento da "tappo" a tutti gli effetti all'atto dell'apertura delle paratoie per la manovra. È questo quindi il punto di intervento, piuttosto che un accumulo di sedimento sulla bocca di presa, prevedibile in 1-3 metri (sotto condizione di un ragionevole mantenimento periodico) e che quindi può essere facilmente mobilizzato sotto effetto del solo battente idraulico in diga all'atto dell'apertura dello scarico.

Questi dispositivi, installati all'atto della costruzione del condotto, in ogni caso risultano di installazione ed esercizio poco impegnativi: il sedimento rimosso è infatti riportato a monte o più frequentemente rilasciato a valle durante l'operazione di pulizia (rilascio possibile con adeguata e compatibile concentrazione per i ridotti volumi coinvolti).

La caratteristica prestazionale richiesta è la non interferenza con le caratteristiche idrauliche dello scarico: questa condizione conduce a utilizzare dispositivi di lavaggio per iniezione di aria compressa.

È appunto su questo tipo di dispositivo che si è concentrata la progettazione, in virtù di:

- Flessibilità nell'installazione, ben adattabile alle geometrie dello scarico;
- Bassi costi di costruzione;
- Nessuna interferenza con le prestazioni idrauliche dello scarico;

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>27 di 39</b>

- Sicurezza ed affidabilità di manovra, con minimi apprestamenti e con l'uso di componenti di normale utilizzo in edilizia;
- Nessun costo di gestione del sedimento, di cui è previsto il rilascio in diluizione controllata a valle;
- Compatibilità ambientale: rilasci a valle limitati al solo volume di sedimento nella tubazione di scarico, e ad una ulteriore quantità in prossimità dell'imbocco, soggetta alla chiamata delle portate in uscita.

Nei prossimi paragrafi si descrivono le scelte progettuali del sistema di iniezione ad aria compressa.

### 3.3.2 Principio di funzionamento

Il tipo di impianto proposto fa riferimento ad esperienze di riattivazione degli scarichi di fondo di una diga dell'arco alpino, utilizzata per la regolazione giornaliera di un impianto idroelettrico, interessata, in seguito ad un singolo evento alluvionale estremo in periodo primaverile (di morbida), da una drastica variazione in aumento del sedimento fine in ingresso, per causa della mobilitazione di antichi depositi di limo glaciale. Il notevole apporto in pochi mesi ha creato:

- La chiusura completa per riempimento dei due condotti dello scarico di fondo (diametro  $D = 800$  mm);
- La creazione, al di sopra della griglia di protezione dell'imbocco dello scarico ed a ridosso del paramento, di un banco di sedimento limoso con altezza di circa 14 m.

Alla manovra delle paratoie terminali, entrambi gli scarichi risultavano inattivi: ne è stata possibile la riapertura a mezzo dell'iniezione di aria compressa, ottenuta da un compressore per cantiere edile, iniettata attraverso le prese manometriche collocate a monte delle paratoie sino alla massima pressione di uscita del compressore (14 bar) e quindi mantenuta nel tempo. In alcune ore la pressione d'aria applicata è stata in grado di mobilitare il limo sino alla fuori uscita lato monte, creando un tubo di flusso attraverso la massa del limo all'interno della condotta e quindi al di sopra dell'imbocco.

La successiva apertura della paratoia ha creato un efflusso attraverso questa via, con l'asportazione progressiva del limo dalla tubazione fino al suo funzionamento a bocca piena, nel tempo di alcune decine di minuti.

Il metodo di apertura è ovviamente riproducibile anche come installazione fissa per la riattivazione manutentiva di nuovi scarichi di fondo sotto le seguenti condizioni:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>28 di 39</b>

- Un carico complessivo tra altezza di limo e battente d'acqua inferiore di un fattore 1.5-1.2 alla massima pressione ottenibile dal compressore da cantiere (circa 14 bar), come nel caso in esame (con peso specifico del limo saturo tra 1.65 e 2.1 t/m<sup>3</sup>);
- Una condotta di scarico, preferibilmente inghisata, adeguata a sopportare dall'interno la massima pressione del compressore (valore tipico di 14 bar per un compressore da edilizia);
- Paratoie ed organi di sezionamento in grado di sopportare sul diaframma in chiusura la pressione massima applicata dal compressore (circa 14 bar).

### 3.3.3 Verifica strutturale della condotta

La verifica tensionale della condotta di previsto impiego per la Diga di Cucchinadorza, secondo il dimensionamento di progetto, effettuata con le seguenti ipotesi:

- Pressione interna di 14 bar (massima pressione ottenibile da un compressore edile);
- Senza collaborazione del betoncino di riempimento dietro alla tubazione e delle murature.

ha fornito i seguenti risultati:

1. La deformazione della condotta, pari a 0.22 mm, è minore rispetto al gap previsto per ritiro all'esterno verso la malta di riempimento (0.95 mm) e pertanto la totalità della pressione agente viene ripresa dall'acciaio.
2. Dal punto di vista tensionale l'efficienza con cui lavora la condotta è pari al 22% della sua capacità ammissibile.

L'installazione, così come descritta, è quindi compatibile con i dimensionamenti di progetto (per quanto riguarda il diaframma della paratoia, la sollecitazione sarà nello stesso modo nei limiti dei margini di progetto: sarà in ogni caso inserito il requisito nella ST di fornitura).

### 3.3.4 Descrizione

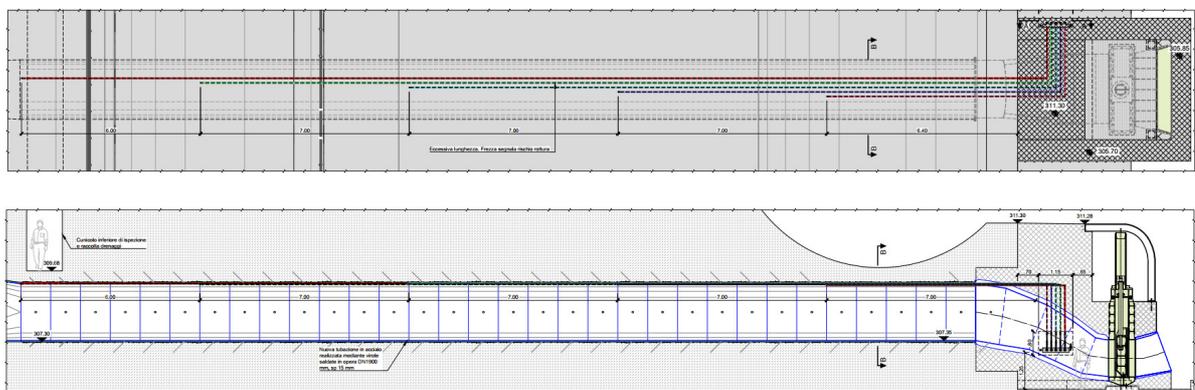
Nella progettazione del dispositivo, così come illustrato in **Figura 25**, sono stati presi a riferimento alcuni elementi tecnici preliminarmente definiti come linee guida di progettazione:

- Fori di iniezione sulla generatrice superiore, in modo da evitare la possibile entrata del sedimento nel sistema di iniezione, e garantirne lunga efficienza;
- Creazione del tubo di efflusso lungo la generatrice superiore, in modo che le prime portate in uscita provvedano a "tagliare" il sedimento accumulato all'interno del tubo dello scarico dall'alto verso il basso;
- Iniezione progressiva eseguita dall'imbocco lato monte verso l'organo di sezionamento lato valle, in modo da utilizzare l'aria iniettata per l'apertura di brevi tratti della tubazione, fino al suo

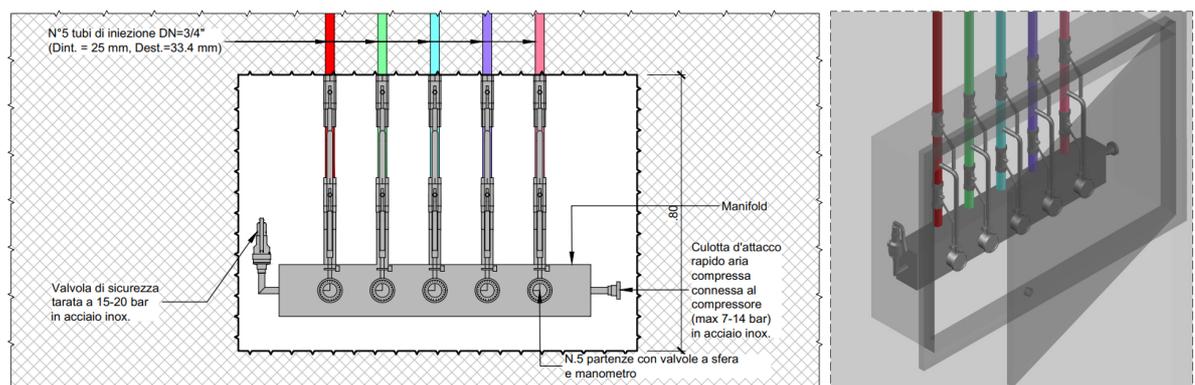
	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>29 di 39</b>

completamento, limitando quindi le pressioni applicate a quanto effettivamente necessario e richiesto per l'apertura del tratto di volta in volta interessato;

- Manovra eseguita manualmente in modo progressivo e controllato da un operatore sul posto, per azionamento di valvole di intercettazione alimentate dal compressore tramite un collettore munito di manometro per il controllo della pressione applicata, ed una valvola di sicurezza ed intercettazione generale;
- Distanza fra i punti di iniezione adeguata ad evitare l'installazione di un numero eccessivo di vie di alimentazione (nel caso 5 punti di iniezione a distanza di circa 7 m).



**Figura 25:** Sistema di iniezione aria, Pianta e Sezione - Tavola 2021.0431.002-GC-GEN-DW-401.



**Figura 26:** Dettaglio del collettore di manovra per iniezione aria - Tavola 2021.0431.002-GC-GEN-DW-401.

### 3.3.5 Operazione

Operazione preliminare che l'operatore dovrà eseguire prima di procedere alle operazioni di apertura mediante iniezione, è la verifica della massima pressione in uscita fornita dal compressore reso disponibile, che dovrà essere conforme ai requisiti di cui in precedenza ( $P < 14$  bar).

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>30 di 39</b>

Durante la manovra di manutenzione dello scarico, da eseguire dopo l'inefficace apertura della paratoia di sezionamento, l'operatore potrà operare con:

- Paratoia di sezionamento chiusa: garantisce l'applicazione della pressione d'aria verso il lato di monte e quindi verso il materiale sedimentato che crea l'occlusione;
- Paratoia di sezionamento aperta: in queste condizioni, in particolare per gli iniettori collocati più a valle, non è garantita l'applicazione della pressione d'aria disponibile sul lato di monte, può essere opportuna nel caso si voglia provvedere alla rimozione della parte terminale del tappo in sedimento prima dell'apertura completa.

L'iniezione sarà tipicamente eseguita dal punto di iniezione più a monte: il termine di ogni manovra di iniezione è evidente dalla caduta della pressione applicata e dalla fuoriuscita di aria dalla superficie dell'invaso lato monte, in corrispondenza dell'imbocco dello scarico.

L'operatore potrà comunque sezionare, dopo l'applicazione dell'iniezione, il punto a monte, mantenendolo pressurizzato, tramite l'intercettazione della linea di iniezione posta sul collettore.

L'iniezione eseguita in avanzamento sui punti più a valle, garantisce in modo progressivo l'apertura di un tubo di flusso in modo progressivo da monte verso valle per tratte di 7 m.

Al raggiungimento del punto di iniezione più a valle, la creazione del tubo di flusso attraverso il sedimento è manifestata dalla caduta della pressione di iniezione.

La successiva operazione è l'apertura progressiva della paratoia a valle ed il rilascio controllato e progressivo delle portate attraverso lo scarico di fondo. In questa manovra di prima apertura risulta prevedibilmente massima la concentrazione dei sedimenti nelle portate rilasciate, ed a favore di tutela ambientale ne dovrà essere prevista la diluizione mediante portate rilasciate in modo controllato dagli scarichi superiori.

### 3.3.6 *Manutenzione*

Il dispositivo descritto, di tipo statico, richiede una corretta installazione, ed in tale condizione è privo di particolari esigenze di manutenzione.

Si consiglia una periodica verifica delle linee di iniezione, mediante introduzione di aria od acqua in pressione, anche nel caso lo scarico di fondo risulti efficiente ed aperto.

Il suo utilizzo è finalizzato al solo caso di occlusione dello scarico di fondo per sedimenti fini, da ritenersi possibile solo qualora venga impedita per lunghi periodi una manovra di prova del nuovo scarico.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	<b>Data 17/04/2024</b>
		<b>Pagina 31 di 39</b>

Questa, al contrario, dovrebbe essere prevista ordinariamente ed in ogni caso con periodicità semestrale.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>32 di 39</b>

## 4. ASPETTI PROGETTUALI

### 4.1 Premessa

Nei seguenti paragrafi si riassumono gli aspetti principali delle attività svolte per l'elaborazione del Progetto Definitivo degli Interventi di riattivazione dello scarico di fondo della diga di Cucchinadorza.

Per i dettagli si rimanda agli elaborati specifici che sono parte integrante del Progetto Definitivo.

### 4.2 Aspetti idraulici

Le verifiche idrauliche, descritte nello specifico rapporto (*2021.0431.002-GE-GEN-RT-102 Relazione Idraulica*), 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.

Nell'ipotesi che durante il rilievo geometrico delle tubazioni esistenti venissero identificate irregolarità nella forma geometrica che impediscano l'installazione di una nuova tubazione DN 1900, è stata esaminata anche la possibilità di installare una tubazione con diametro inferiore pari a DN 1800. Sono state dunque estese le verifiche idrauliche anche secondo detta condizione.

Successive valutazioni hanno portato infine alla scelta progettuale dell'adozione di una tubazione di diametro  $D=1'800$  mm.

Il nuovo scarico di fondo sarà in grado di evacuare, alla quota di massimo invaso (349.0 m s.l.m., riferimento secondo F.C.E.M. [1]), la portata di ca.  $101.1 \text{ m}^3/\text{s}$  nel caso di tubazione con DN 1800 (diametro di prevista installazione).

### 4.3 Aspetti strutturali di calcolo

Nel rapporto *2020.0240.002-GC-GEN-RT-108 Relazione di calcolo strutturale* sono descritte le soluzioni progettuali dell'intervento di ripristino dello scarico di fondo, realizzate in ottemperanza alle indicazioni del NTC2018 vigente in Italia, con particolare attenzione al calcolo delle sollecitazioni e alle verifiche strutturali eseguite per i seguenti elementi:

- Condotta di scarico;

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>33 di 39</b>

- Blocco di ancoraggio.

In tutti gli scenari considerati e per tutte le combinazioni le verifiche sono soddisfatte con sufficienti margini di sicurezza. In particolare, si denota che:

- Le verifiche strutturali e di stabilità del blocco d'ancoraggio risultano soddisfatte;
- La condotta, calcolata sotto l'azione delle pressioni interne ed esterne, risulta verificata e ben dimensionata.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>34</b> di <b>39</b>

## 5. CANTIERISTICA

### 5.1 Realizzabilità operativa e cantiere

Per la realizzazione degli interventi in oggetto sono state individuate preliminarmente delle possibili aree di cantiere, sia su indicazione dei Tecnici ENEL, sia dall'osservazione delle foto aeree e della cartografia disponibile nell'area. Le aree ad oggi individuate, sulla base delle informazioni a disposizione, sono le seguenti:

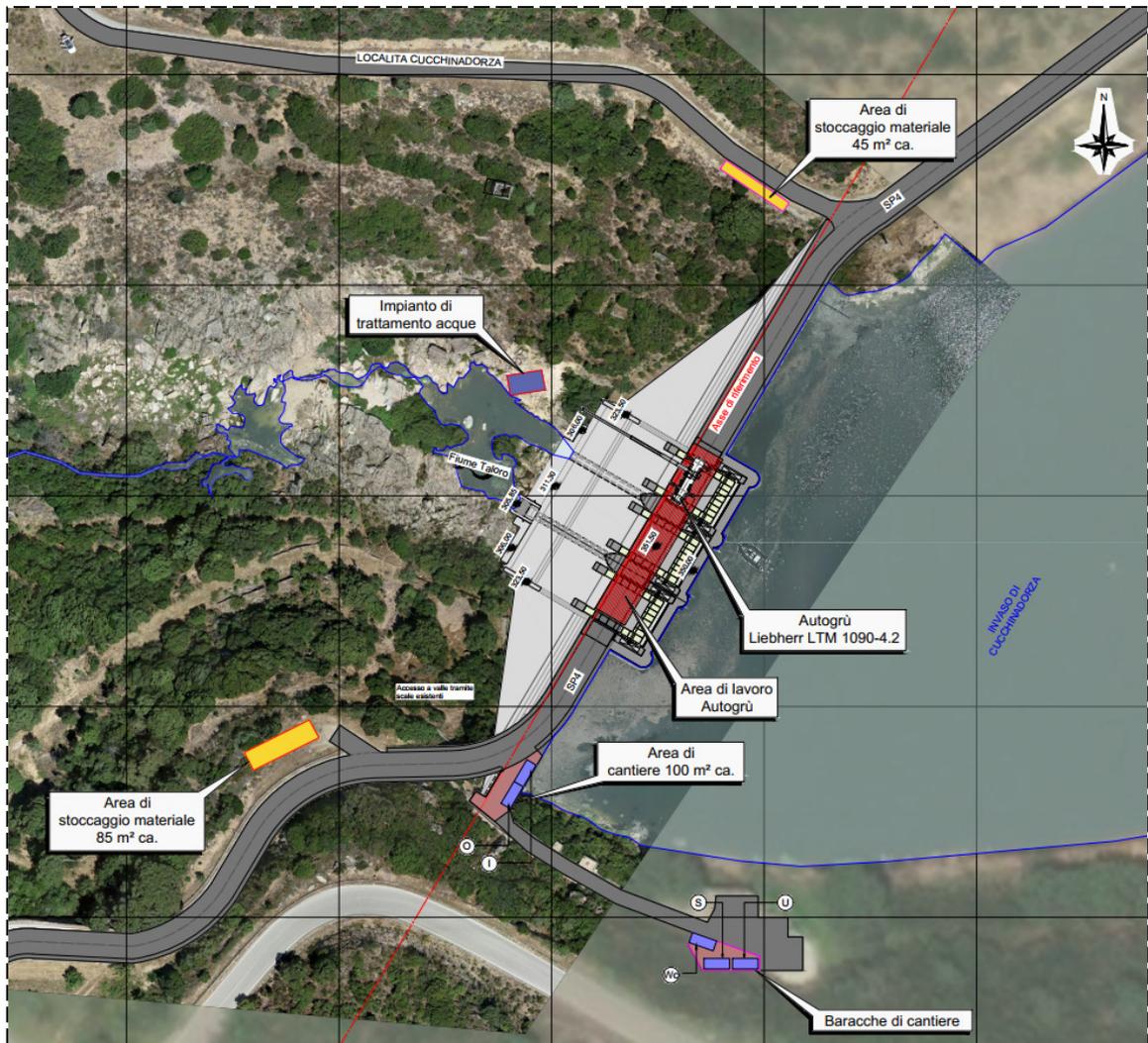
- Costeggiando la SP4 proveniente da Teti, prima dell'attraversamento stradale sul coronamento della diga di Cucchinadorza (sinistra idraulica), si sono individuate le seguenti aree di proprietà Enel dove ubicare parte della logistica di cantiere (uffici per l'impresa e la DL, infermeria, refettorio e servizi igienici):
  - Piazzale antistante la casa di guardia, in prossimità del quale collocare uffici, spogliatoi e bagni a servizio delle maestranze e della direzione lavori;
  - Area sul prolungamento del coronamento in sponda sinistra, ove collocare officina ed infermeria a servizio delle maestranze, con superficie idonea anche allo stazionamento di alcuni mezzi o allo stoccaggio materiali.



**Figura 27:** Possibili aree di cantiere in sponda sinistra idraulica dell'invaso.

- Due aree di stoccaggio (85 e 45 m<sup>2</sup>) su entrambi i lati della diga rispettivamente in sponda sinistra e destra idraulica come rappresentato in **Figura 28**.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>35 di 39</b>



**Figura 28:** Pianta di cantiere.

Le lavorazioni, concentrate prevalentemente a valle della diga, implicano rischi per la sicurezza sostanzialmente ridotti. Durante la realizzazione delle opere a valle si dovrà provvedere alla chiusura delle paratoie di regolazione dello scarico di superficie. Inoltre, conformemente alla normativa vigente in tema di sicurezza, si predisporranno opportuni sistemi di allarme che, congiuntamente alla consultazione in tempo reale dei bollettini di allerta meteo, consentiranno lo sgombero del cantiere nel caso di piena e possibili sfiori dall'invaso.

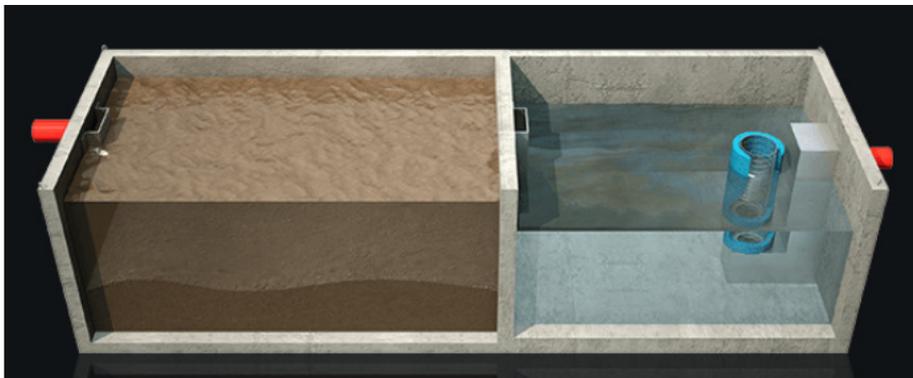
L'abbassamento dei materiali nell'area di lavoro al piede diga sarà eseguito dalla viabilità esistente (SP4), con la necessità di alcune brevi e saltuarie interruzioni.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo  <i>Relazione Tecnica Generale</i>	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
		Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>36 di 39</b>

## 5.2 Sistema di trattamento delle acque reflue

Fra le prescrizioni a tutela ambientale a carico dell'impresa esecutrice è compreso il controllo della qualità delle acque risultanti dalle lavorazioni necessarie per il consolidamento e l'impermeabilizzazione del calcestruzzo esistente della diga in prossimità delle tubazioni dello scarico di fondo, aspetto di maggior rilievo ambientale delle modalità esecutive previste.

L'Impresa Appaltatrice dovrà provvedere e realizzare/installare a valle della diga opportuni sistemi di gestione e trattamento delle acque reflue provenienti dalle lavorazioni.



**Figura 29:** Esempio impianto trattamento in continuo delle acque di aggotamento con filtro a coalescenza.

## 5.3 Fasi di montaggio delle carpenterie metalliche

Si osserva che l'esecuzione del montaggio è prevista con presenza di personale all'interno della tubazione: l'allagamento della tubazione è in questo caso impedito da un singolo livello di sicurezza costituito dalla esistente paratoia, sulla quale è prevista la predisposizione di blocchi multipli (elettrici e meccanici, esclusione del telecomando) sugli organi di manovra durante i lavori al fine di evitare manovre intempestive. Si è provveduto a valutare la predisposizione di un ulteriore livello di sicurezza al fine del miglioramento: questo però richiede la messa in opera sul lato di monte, in esecuzione subacquea, o lato valle con lavori per la creazione di adeguate opere di supporto, in entrambi i casi tali da esporre il personale incaricato della predisposizione di questo ulteriore livello di sicurezza a rischi comparabili o addirittura superiori a quelli dell'intervento principale, nelle due fasi di impianto e quindi di successivo smantellamento.

La predisposizione dei disegni di officina delle nuove parti è necessariamente subordinata al rilievo dimensionale delle opere metalliche esistenti, con le quali i nuovi elementi devono risultare dimensionalmente compatibili e adeguati, sia nella configurazione finale che nelle fasi di trasporto.

Il montaggio delle carpenterie metalliche sarà eseguito in più fasi, comprendenti:

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>37 di 39</b>

1. l'apprestamento della tubazione esistente, mediante
  - a. perforazione, esecuzione di una campagna di iniezioni di consolidamento ed intasamento della muratura perimetrale eseguite a bassa pressione a boccaforo con l'utilizzo di otturatori meccanici e per mezzo di una boiaccia di intasamento e consolidamento di specifico mix design. Durante le iniezioni si provvederà al controllo dell'eventuale emersione della boiaccia di intasamento dalle perforazioni di drenaggio del piano di fondazione e dai manometri per la misura delle sottopressioni. In caso di questo accadimento i drenaggi e le perforazioni di misura in cui accada dovranno essere ripristinati mediante riperforazione;
  - b. predisposizione di ancoraggi sul perimetro della tubazione esistente al fine di garantire la trasmissione degli sforzi di taglio;
  - c. pulizia accurata mediante lavaggio ad alta pressione della tubazione;
2. la predisposizione delle demolizioni sul paramento di valle della diga, al fine dell'inserimento del tratto ad S terminale per la connessione alla paratoia a cassa chiusa;
3. il montaggio del convergente iniziale lato paratoia esistente, che ne connette la sezione quadrata alla sezione circolare della nuova tubazione interna. Questo montaggio viene eseguito:
  - a. previa preparazione dei lamierati esistenti in posto sul lato di monte: la preparazione mediante smerigliatrice ha la finalità non solo di preparare il giunto saldato ma anche di evitare la presenza, idraulicamente non favorevole, di uno scalino pari allo spessore dei nuovi lamierati immediatamente a valle della paratoia;
  - b. il trasporto interno delle parti presagomate del raccordo, munite dei riscontri di montaggio e degli irrigidimenti, temporanei e/o permanenti, necessari per garantirne il montaggio secondo le geometrie di progetto. I lembi di queste parti dovranno essere, prima del trasporto all'interno od in officina, adeguatamente preparati alla saldatura di testa, anche con l'utilizzo, dove gli spessori lo consentano, di lamierini esterni di appoggio presaldati, a limitare ed integrarsi con i nuovi cordoni delle saldature di testa. Il corretto posizionamento secondo lo schema di montaggio sarà verificato prima della saldatura
  - c. la saldatura progressiva degli elementi. La sezione di uscita del raccordo dovrà risultare corrispondente al diametro delle virole lato valle, senza deformazioni od ovalizzazioni.
4. Il montaggio successivo delle virole circolari, anche queste munite di lamierino presaldato per il centraggio sul lato di monte, dove il fissaggio viene completato mediante l'esecuzione di una saldatura di testa con preparazione sul lato interno, e connesse a fazzoletti di centraggio, saldati sia sulla vecchia tubazione che sulla nuova virola;

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>38 di 39</b>

5. Il montaggio finale del raccordo ad S, questo eseguito con saldatura di testa interna ed esterna.
6. montaggio della cassa paratoia sul raccordo ad S, con le opportune predisposizioni di sostegno;
7. montaggio dell'elemento di valle, ovvero del deviatore dello ski jump;
8. esecuzione del getto del blocco di calcestruzzo terminale che ingloba il raccordo ad S, la cassa paratoia e l'elemento finale;
9. rifinitura interna dei cordoni di saldatura, con controllo qualità mediante liquidi penetranti e ad ultrasuoni, secondo il sistema di gestione qualità dell'Appaltatore;
10. esecuzione delle iniezioni di inghisaggio ed intasamento, mediante le perforazioni e gli sfiati predisposte allo scopo, con chiusura finale delle aperture di intasamento, mediante tappi filettati e successiva saldatura;
11. Eventuali ulteriori iniezioni di contatto se ritenute necessarie dalla DL;
12. Ripristino della verniciatura protettiva, secondo le prescrizioni della Specifica Tecnica.

	IMPIANTO Impianto idroelettrico di Cucchinadorza	CODICE CKS <b>GRE.OEM.R.90.IT.H.79006.09.101.00</b>
	TITOLO Ripristino dello scarico di fondo	CODICE INTERNO 2021.0431.002-GC-GEN-RT-101
	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	Data <b>17/04/2024</b>
		Pagina <b>39 di 39</b>

## 6. STIMA DEI TEMPI

Il tempo stimato per l'esecuzione dei lavori è pari a 167 giorni naturali e consecutivi.

Durante i lavori per il rinnovo della condotta e installazione della paratoia non è previsto l'abbassamento della quota d'invaso.

Per la programmazione dei lavori sono stati considerati i seguenti vincoli e/o obiettivi:

- Periodo 1: Ripristino del quadro fessurativo dei cassoni galleggianti 47 gg
- Periodo 2: Intervento su scarico sinistro 119 gg
- Periodo 3: Intervento subacqueo su paratoia di monte dello scarico sinistro 56 gg

Il primo periodo di lavorazione, è stato ipotizzato anteriormente agli interventi sullo scarico, ma potrà essere realizzato nel momento ipotizzato più opportuno, in funzione dell'esigenze del Cliente e delle necessità dell'Impresa, ed eseguito anche in parallelo agli altri lavori.

La lavorazione del periodo 3 dovrà essere invece realizzata, necessariamente, una volta terminati i lavori di ripristino e manutenzione della condotta dello scarico sinistro, inclusa l'installazione della nuova paratoia a valle.

La stima delle tempistiche di realizzazione è basata sulle ipotesi di installazione e della logistica di cantiere descritte nel presente documento e sull'esperienza della Lombardi SA e di Enel in contesti analoghi.