



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

INTERVENTO PNRR - M2C4-I4.1-A3-22

## CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE E AMPLIAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DELLA DIGA DI GOVOSSAI - FONNI

ID POTDFIDH141002 Rif. MIT. D4072



# PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

STAZIONE APPALTANTE - RUP :

**ABBANO** S.p.A.

RUP : Ing. Antonio Demontis

Supporto al RUP : Ing. Nicola Placido

RESPONSABILE DELLA INTEGRAZIONE  
DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Simone Venturini

RESPONSABILI DELLA PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Marco Lora

Dott. Ing. Cecile Cremer

RESPONSABILE DELLA GEOLOGIA:

Geol. Emanuele Fresia

PROGETTAZIONE :

Capogruppo Mandataria

 **ABBANO** S.p.A.

Mandanti

 **Lombardi**  
Lombardi Ingegneria S.r.l.

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneria Consulenti

 **SERVIN**  
SERVIZI INTEGRATI ALL'INGEGNERIA S.R.L.

Prof. Armando Brath

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GENERALE

ELABORATO N° :

POTDFIDH141002\_TLSBFAT002R3

ELABORATO N° (CODICE ESTESO) :

I1271-GEN-R001\_2

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		Technital	M.Lora	M.Lora		
REVISIONE	N.	DESCRIZIONE				
	1	OTT 2022	PRIMA EMISSIONE	TCH	M.L.	M.L.
	2	DIC 2022	REVISIONE DEL PFTE	TCH	M.L.	M.L.
	3	APR 2023	INTEGRAZIONE VOLONTARIA	TCH	M.L.	M.L.

NOME FILE :

POTDFIDH141002\_TLSBFAT002R3.DOC

DATA :

APRILE 2023

SCALA :

-

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 1



**CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE E AMPLIAMENTO DELLA  
STRUMENTAZIONE CONTROLLO DELLA DIGA DI GOVOSSAI  
- FONNI -**

**RELAZIONE GENERALE**

**Aprile 2023**

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 2

## **INDICE**

1.	PREMESSA	4
2.	SINTESI DELLA PRESENTE RELAZIONE	6
3.	DOCUMENTI STORICO-PREGRESSI	7
4.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
5.	OPERE DI SCARICO	11
	5.1. Scarico di superficie	11
	5.2. Scarico di fondo	11
6.	DATI PRINCIPALI DEL SERBATOIO DESUNTI DAL PROGETTO APPROVATO	13
	6.1. Breve cronistoria	14
7.	RIEPILOGO DEGLI INTERVENTI STORICI	15
	7.1. Esecuzione dei lavori (1947-1955)	15
	7.2. Primi invasi della diga (1955)	15
	7.3. Intervento di ripristino della tenuta del paramento (1966-1967)	16
	7.4. Campagna di indagini Soiltecnica (1996)	16
	7.5. Proposta di intervento ISMES (1999)	16
	7.6. Ripristino e integrazione del sistema di drenaggio (1999-2000)	16
	7.7. Proposta di intervento Ravaglioli (2001)	17
	7.8. Interventi sperimentali (2002-2004)	17
	7.9. Esecuzione dell'intervento di ripristino della tenuta del corpo diga (2005-2008)	18
	7.10. Massima quota idraulica autorizzata	18
	7.11. Studio di prefattibilità CESI (2017)	19
8.	RIEPILOGO DELLE INDAGINI STORICHE	20
	8.1. Campagna di indagini Soiltecnica (1996)	20
	8.2. Prove di laboratorio ISMES (1999)	21
	8.3. Perforazioni e sondaggi eseguiti nell'ambito degli studi del Prof. Ravaglioli (2001-2004)	22
	8.4. Perforazioni e sondaggi eseguiti nell'ambito del progetto di Farre-Ravaglioli (2005-2008)	23
9.	CAMPAGNA DI INDAGINI TOPOGRAFICHE, GEOGNOSTICHE E DIAGNOSTICHE NELL'AMBITO DEL PRESENTE PROGETTO (2021-2022)	25
	9.1. Rilievo topografico e mappature difettologiche	26
	9.2. Corpo di sbarramento	28
	9.3. Sfiatore	31
	9.4. Viadotto soprastante lo sfioratore	32

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 3

9.5.	Casa di guardia	33
9.6.	Scarico di fondo	34
10.	CONTESTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	36
11.	IDROLOGIA E IDRAULICA	40
11.1.	Caratteristiche del bacino contribuente	40
11.2.	Stima degli idrogrammi di piena	41
11.3.	Capacità dello scaricatore di superficie	42
11.4.	Stima del franco idraulico netto per la portata millenaria	45
11.5.	Capacità dello scarico di fondo e stima del tempo di vuotamento	46
12.	INTERVENTI PREVISTI SUL CORPO DIGA	48
12.1.	Schema degli interventi	48
12.2.	Appesantimento del corpo diga	49
12.3.	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio	50
12.4.	Consolidamento piede di monte e schermo di tenuta	50
12.5.	Consolidamento corpo diga e contatto diga-fondazione	51
12.6.	Ripristino e adeguamento del coronamento	51
12.7.	Risanamento dei cunicoli esistenti	51
12.8.	Integrazione del sistema di monitoraggio	51
13.	INTERVENTI PREVISTI SULLE OPERE ACCESSORIE	54
13.1.	Sfioratore	54
13.2.	Ponte carrabile	56
13.3.	Scarico di fondo	58
13.4.	Torretta verticale di presa	59
13.5.	Coronamento del corpo diga	59
13.6.	Casa di guardia	60
14.	CANTIERIZZAZIONE	61
14.1.1.	Opere primarie di cantierizzazione – Alternativa 1	62
14.1.2.	Opere integrative di cantierizzazione – Alternativa 2	62
14.1.3.	Confronto tra gli assetti alternativi di Cantiere	64
15.	VALUTAZIONI AMBIENTALI	66
16.	CRONOPROGRAMMA	68
17.	SUDDIVISIONE IN STRALCI e QUADRO ECONOMICO	69
17.1.	Quadro economico dello STRALCIO 1	72
17.2.	Quadro economico dello STRALCIO 2	73
17.3.	Quadro economico dell'OPERA COMPLETA	74

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 4

## 1. PREMESSA

L’RTP costituito da Technital S.p.A., Lombardi Ingegneria s.r.l., SERV.IN. Ingegneria s.r.l., Lombardi SA Ingegneri Consulenti, Brath Armando Luigi Maria è stato incaricato da Abbanoa S.p.A. dello svolgimento dei Servizi di ingegneria e architettura concernenti la progettazione, il coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, direzione lavori, misura, contabilità, e coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, dei lavori di CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE E AMPLIAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DELLA DIGA DI GOVOSSAI – FONNI – NU.

Nell’ambito della prima fase progettuale di Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica, il presente documento costituisce la Relazione Generale, che contiene la descrizione sintetica dello stato di consistenza delle opere e degli interventi previsti per il relativo miglioramento prestazionale. L’obiettivo progettuale mira prioritariamente alla messa in sicurezza dell’opera di ritenuta, costituita da uno sbarramento realizzato in muratura di pietrame granitico e malta di cemento, con fondazioni in calcestruzzo. L’opera di ritenuta risulta storicamente compromessa da marcate criticità di tenuta idraulica e di stabilità, legate allo stato di consistenza dell’ammasso murario.

È stato a tal proposito ricostruito l’assetto dello stato di fatto conducendo, nell’ambito della presente fase progettuale, un rilievo plano-altimetrico, una campagna di indagine diagnostica e geognostica estesa al corpo di ritenuta, al canale collettore e fugatore, alla casa di guardia, al viadotto soprastante il canale fugatore e al dispositivo dello scarico di fondo.

La ricostruzione diagnostica dell’assetto esistente ha consentito un’analisi storico-critica delle opere e la definizione di interventi di miglioramento, ai sensi del DM 26/06/2014.

Gli interventi possono sintetizzarsi in:

- Realizzazione di un contromuro sul paramento di monte della diga, con l’obiettivo di assicurare tenuta idraulica dello sbarramento e migliorare la stabilità
- Iniezioni sul corpo diga esistente al fine di provvedere al risanamento della muratura esistente

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 5

- Rifacimento del coronamento del corpo diga
- Intervento di ripristino del canale collettore e fuggatore con demolizione e rifacimento della soletta di fondo e posa di scogliera di protezione lato serbatoio. Realizzazione di nuovo muro di sostegno a tergo del petto stramazzan- te per il relativo adempimento delle verifiche di stabilità
- Iniezioni di consolidamento dietro il muro a monte del canale collettore
- Demolizione del ponte esistente sul canale fuggatore e realizzazione di nuo- vo ponte
- Interventi di manutenzione della casa di guardia, al fine del ripristino della relativa funzionalità
- Intervento di ripristino della condotta dello scarico di fondo e sostituzione della valvola di regolazione
- Interventi di ripristino della rete di monitoraggio e di controllo del corpo diga esistente.

Seppur il presente PFTE ricada nell'ambito di una progettazione preliminare ai sensi del DPR 207/2010, le criticità riscontrate dalla disamina diagnostica delle opere stabiliscono come gli interventi risolutivi siano difficilmente classificabili in una serie di soluzioni alternative: infatti, il mancato raggiungimento della stabilità globale nell'assetto esistente e le problematiche connesse alla tenuta idraulica impongono necessariamente di ricorrere alla realizzazione di un contromuro, così da adempiere agli obiettivi di riabilitazione e miglioramento imposti dalla normativa di settore sulle dighe.

Pertanto, il presente PFTE è orientato alla presentazione dell'unica soluzione pro- gettuale ritenuta risolutiva ed efficace al caso presente, e non indaga dal punto di vista tecnico-economico differenti alternative; nella RELAZIONE DI PREFATTI- BILITA' AMBIENTALE viene comunque citata la SOLUZIONE 0, ovvero la so- luzione che prevede la dismissione e l'abbattimento del corpo di sbarramento: trat- tasi, questa, di una soluzione di applicabilità remota, poiché genera impatti sia am- bientali che socio-economici insostenibili e difficilmente giustificabili.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 6

## 2. SINTESI DELLA PRESENTE RELAZIONE

La presente relazione è articolata secondo i seguenti capitoli:

- Al §3 è riportato un elenco dei documenti progettuali progressi di riferimento per l'analisi storico-critica dei manufatti
- Al §4 viene riportata una sintesi descrittiva dell'opera
- Al §5 si descrivono le geometrie delle opere di scarico
- Al §6 sono riportati i dati principali del serbatoio desunti dal progetto storico e dichiarati nel Foglio delle Condizioni (FdC)
- Al §7 è descritta sinteticamente la rassegna degli interventi a cui è stato sottoposto il corpo di sbarramento a partire dalla sua realizzazione
- Al §8 sono sinteticamente riepilogate le indagini diagnostiche storiche svolte sull'impianto di ritenuta
- Al §9 sono descritte sinteticamente tutte le indagini svolte nell'ambito del presente PFTE
- Al §10 è descritto il contesto geologico, geomorfologico e idrogeologico del sito dell'invaso
- Al §11 sono sintetizzate le stime idrologiche e le valutazioni di carattere idraulico svolte nel presente PFTE
- Al §12 sono descritti gli interventi previsti sul corpo di sbarramento
- Al §13 sono descritti gli interventi previsti sulle opere accessorie
- Al §14 sono descritti gli apprestamenti di cantiere, in due configurazioni alternative, presentate anche nello Studio di Prefattibilità Ambientale (cod. el. POTDFIDH141002\_TLSBFAT051R2)
- Al §15 sono riportate sinteticamente le considerazioni di tipo ambientale
- Al §16 è riportato il Cronoprogramma ed indicato il tempo di esecuzione dei lavori
- Al §17 viene descritta la suddivisione in STRALCI dell'opera, e illustrato il Quadro Economico da riferirsi ai rispettivi stralci (1 e 2) e all'OPERA COMPLETA.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 7

### 3. DOCUMENTI STORICO-PREGRESSI

La ricostruzione dello stato dell'assetto geotecnico, diagnostico dell'impianto di ritenuta è derivato dalle indagini attuate nella presente sede progettuale, e dalla consultazione della documentazione storica posta a disposizione dalla Stazione Appaltante, qui elencata:

- Foglio di condizione per l'esercizio e la manutenzione della diga di Govossai nel comune di Fonni provincia di Nuoro (n. arch R.I.D. 451/469)
- Soiltecnica, Indagini geotecniche finalizzate all'adeguamento della diga sul rio Govossai. All.N.1-Relazione geologico-tecnica, All.N.3- Tavole stratigrafiche, novembre 1996.
- ISMES, Prog. STR-2445; Doc.RAT-STA-0062/99- Esecuzione di prove di laboratorio su campioni di muratura (malta e pietrame) calcestruzzo e roccia, gennaio 1999.
- ISMES, Prog. STR-2445; Doc.RAT-STR-252/99- Verifica delle condizioni di sicurezza statica dell'opera, gennaio 1999.
- Ravaglioli, "Diga di Govossai: Analisi della situazione attuale e dei possibili interventi di ripristino", ottobre 2001;
- Ravaglioli e Vitullo "Diga di Govossai: Interventi sperimentali per il ripristino della tenuta -Relazione", novembre 2002;
- Ravaglioli "Diga di Govossai: Interventi sperimentali per il ripristino della tenuta -Relazione Conclusiva", ottobre 2004;
- Ravaglioli "Diga di Govossai: Ripristino della tenuta del corpo diga - Relazione finale sui lavori", settembre 2008;
- CESI "Diga di Govossai - Studio di fattibilità con analisi alternative relativo all'intervento di messa in sicurezza e ripristino capacità invaso", Luglio 2017;
- Abbanoa, Bollettini mensili (da maggio 2016 a settembre 2022);
- Abbanoa, Diagrammi semestrali (dal I sem. 2016 al I semestre 2022);
- Abbanoa, Asseverazioni (dal I sem. 2016 al I semestre 2022).

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 8
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

#### 4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il manufatto sbarrà il Rio Govossai, affluente del Taloro, nel tratto compreso tra Bruncu Siores e Nuraghe Fuili, sottendendo un bacino imbrifero di circa 30 km<sup>2</sup>. I materiali di fondazione sono costituiti da un ammasso di roccia granitica. La diga è del tipo a gravità in muratura di pietrame granitico e malta di cemento, con fondazioni in calcestruzzo. Il paramento di monte è verticale e rivestito di bolognini di granito. Il paramento di valle è realizzato con una scarpa pari a 0.70 nella parte inferiore compresa tra il piede e la quota di 901.376 m s.m.m., cui segue un raccordo circolare di raggio pari a 22.88 m e un tratto verticale fino a quota coronamento (Figura 1).

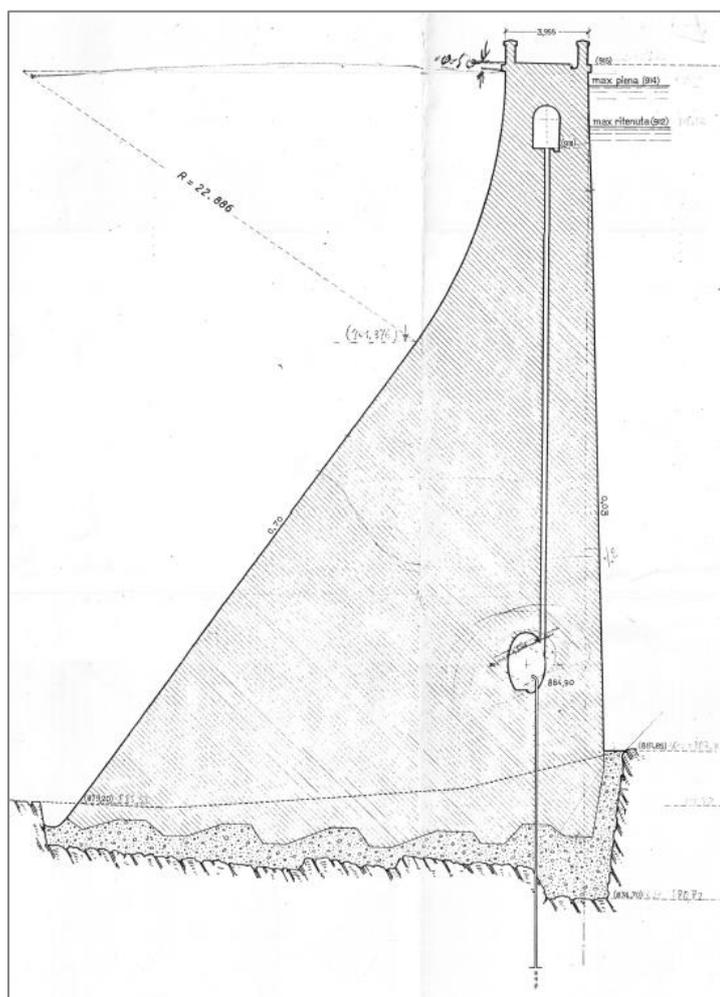
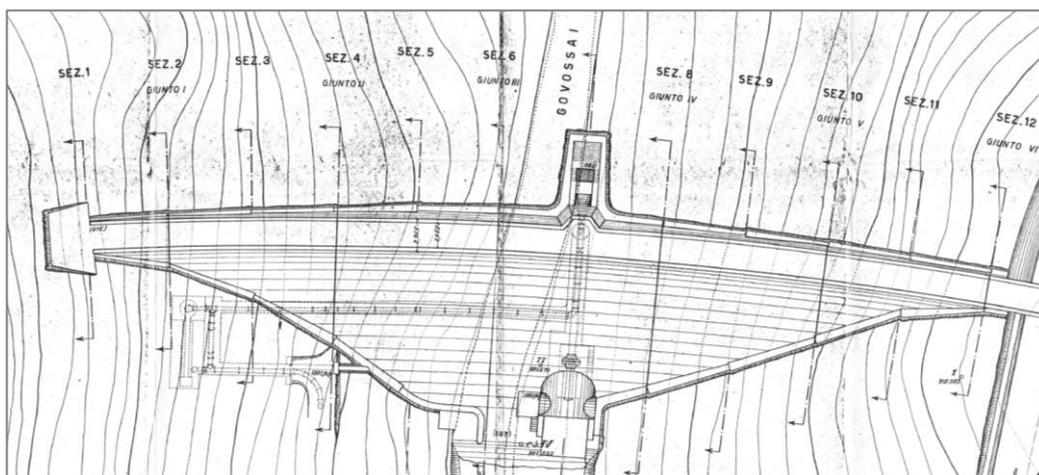


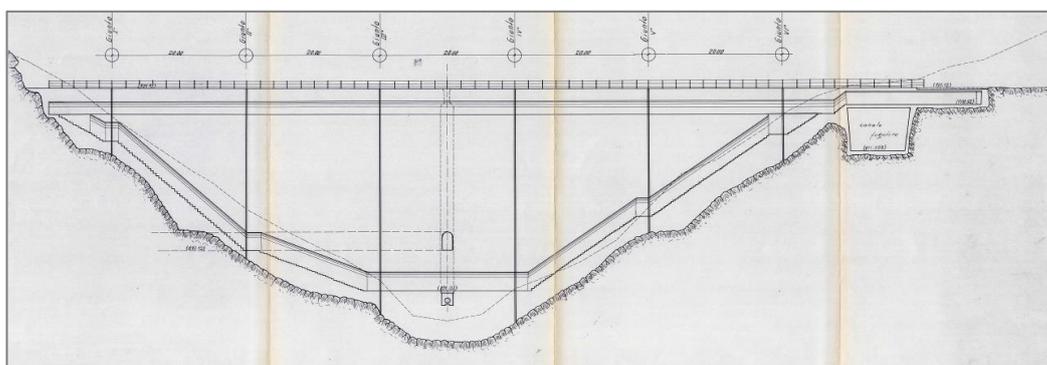
Figura 1 – Sezione tipo del corpo diga nella zona centrale

Lo sbarramento è suddiviso in 7 conci indipendenti separati da sei giunti di dilatazione posti tra loro a distanza di 20 m (Figura 2 e Figura 3).

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 9
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			



**Figura 2 – Planimetria di corpo di sbarramento. La posizione dei giunti è indicata dal tracciamento delle sezioni trasversali accompagnate dalla scritta GIUNTO**

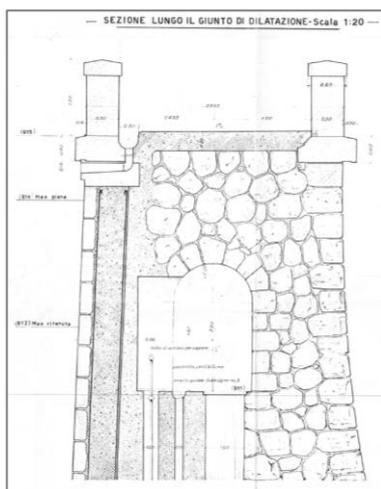


**Figura 3 – Prospetto di corpo di sbarramento da valle**

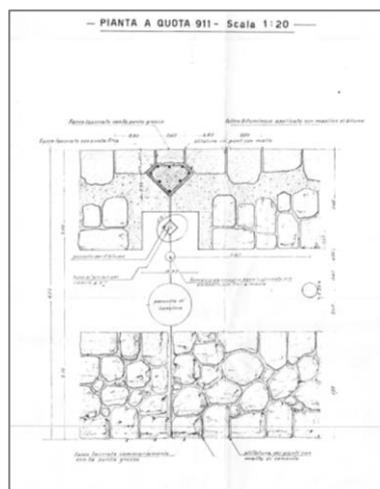
L'elemento di tenuta dei giunti è costituito da due dispositivi in serie: il primo costituito da un pozzetto, a sezione quadrata, riempito di bitume, all'interno del quale è stato predisposto un tubo per la circolazione del vapore al fine di permettere eventuali successive riprese; il secondo, a monte, è costituito da una trave a sezione pentagonale in calcestruzzo armato, gettata su apposita sede, previa interposizione di uno strato di feltro bitumato (Figura 4 e Figura 5).

All'interno del corpo diga sono state realizzate due cunicoli d'ispezione, di cui quello inferiore si sviluppa per tutta l'imposta perimetrale della diga, mentre quello superiore si sviluppa in orizzontale; il cunicolo superiore è collegato con gli estremi del cunicolo inferiore e permette, tra l'altro, l'accesso diretto alla casa di guardia.

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 10
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			



**Figura 4 – Sezione verticale in corrispondenza dei giunti di dilatazione**



**Figura 5 – Sezione orizzontale in corrispondenza dei giunti di dilatazione**

All'interno del cunicolo inferiore converge il sistema drenante del corpo diga costituito da una serie di canne verticali ascendenti e discendenti e da pozzi d'ispezione realizzati in corrispondenza dei giunti di dilatazione. Il sistema drenante originario, realizzato in fase di costruzione del corpo diga, era costituito da una serie di canne discendenti  $\phi$  180 mm e poste ad interasse di 2 m e da una serie di canne ascendenti  $\phi$  200 mm, spinte fino alla roccia di fondazione, poste a interasse di 4 m. Nel 1999 il sistema drenante è stato adeguato, rialesando sia tutte le canne discendenti esistenti, maggiorandone il diametro esterno fino a 200 mm, sia tutte le canne drenanti ascendenti esistenti, maggiorandone anche questo caso il relativo diametro fino a 250 mm; sono state altresì perforate nuove canne drenanti ascendenti  $\phi$  250 mm riducendo complessivamente l'interasse dei drenaggi in fondazione da 4 m a 2 m.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 11

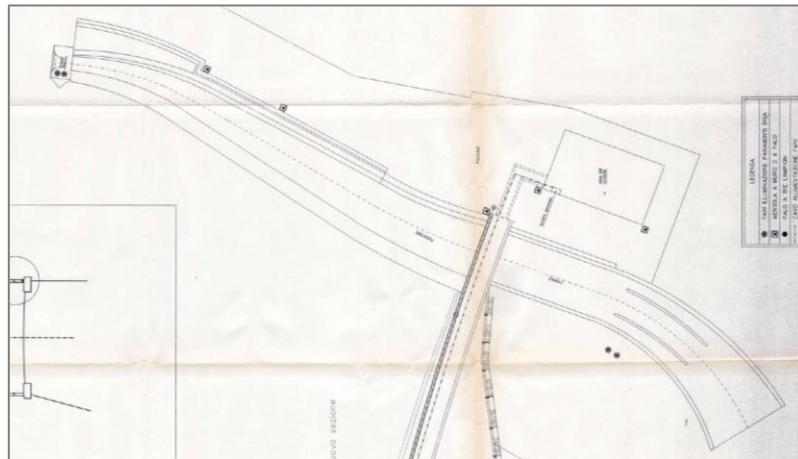
## 5. OPERE DI SCARICO

La portata esitata dagli scarichi principali, secondo il vigente Foglio delle Condizioni, alla quota di 920.12 m s.m.m. (corrispondente al massimo invaso) risulta:

- 427 m<sup>3</sup>/s dallo scarico di superficie
- 7.485 m<sup>3</sup>/s dallo scarico di fondo.

### 5.1. Scarico di superficie

Lo scarico è costituito da uno sfioratore laterale in sponda sinistra, sagomato secondo un profilo Creager, di lunghezza pari a 72 m e di altezza variabile. Sia la soglia, che le pareti a valle, sono rivestite in bolognini di granito. Lo sfioratore alimenta un canale a sezione trapezoidale, rivestito in calcestruzzo, avente pendenza e sezione variabile. L'inizio del canale coincide con l'inizio dello sfioratore, perciò il primo tratto, a monte della diga, si sviluppa per 72 m smaltendo una portata uniformemente variabile lungo il percorso (Figura 6). Il secondo tratto, a valle della diga, si sviluppa per circa 46 m.



**Figura 6 – Planimetria dello scaricatore di superficie, costituito dallo sfioro, dal canale collettore in fregio e dal canale fugatore a valle del ponte di attraversamento**

### 5.2. Scarico di fondo

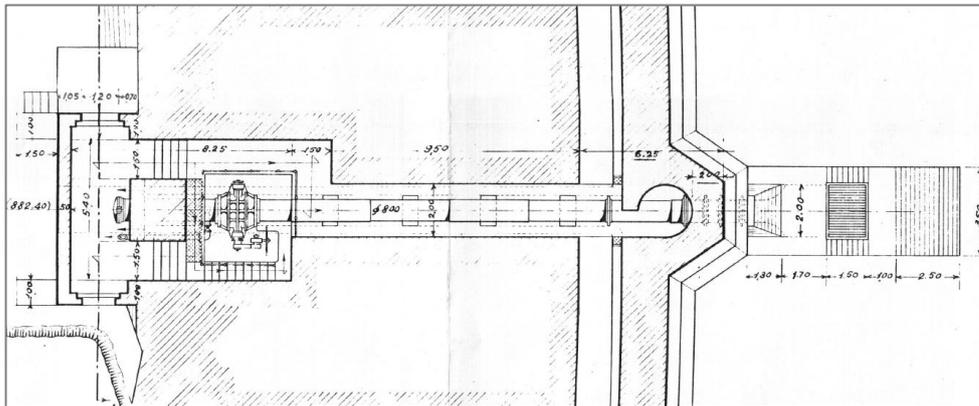
Lo scarico di fondo attraversa il corpo diga, in posizione assiale, ed è realizzato con una condotta in acciaio DN 800. La quota dell'asse d'imbocco dello scarico è dichiarata pari a 889.72 m s.m.m. nel FdC, e pari a 889.12 m s.m.m. allo sbocco.

La lunghezza complessiva risultava pari a 26 m nella prima configurazione dell'opera.

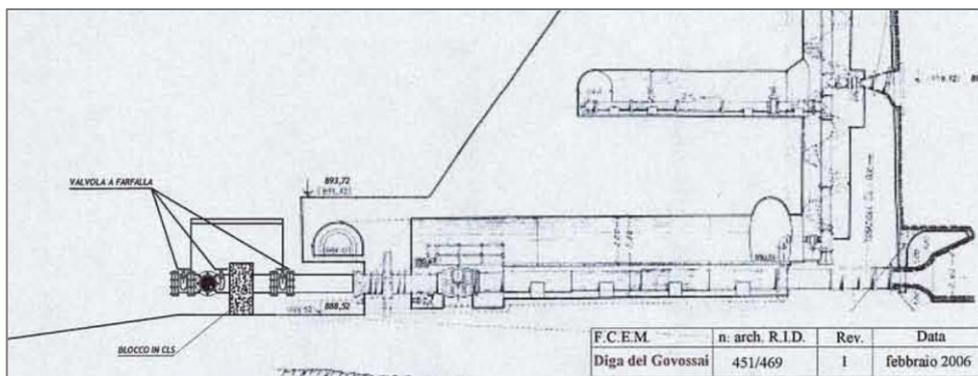
Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 12
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

La presa del bacino presenta una strombatura per la diminuzione delle perdite all'imbocco alla quale fa seguito una griglia di protezione sistemata nello stesso manufatto nel quale è posizionato il tratto di raccordo. Nel progetto originario (Figura 7) era stato previsto un solo organo di manovra costituito da una saracinesca manovrabile manualmente. Successivamente la tubazione dello scarico di fondo è stata prolungata di circa 2 m e, a valle, è stata inserita una valvola a farfalla motorizzata, manovrabile sia elettricamente che manualmente.

È stata dunque inserita in serie, sempre a valle, una ulteriore valvola a farfalla motorizzata la cui chiusura permette di convogliare l'acqua scaricata in una tubazione innestata con un T a quella dello scarico di fondo (Figura 8).



**Figura 7 – Planimetria dello scarico di fondo nel Progetto Esecutivo. Lo scarico è intercettato da un'unica valvola di regolazione**



**Figura 8 – Profilo dello scarico di fondo nell'assetto attuale. La valvola di regolazione originaria, rappresentata in Figura 7 risulta ad oggi inattiva e sostituita dalla valvola posta alla sezione terminale dello scarico. È inoltre presente una valvola intermedia per alimentare una derivazione a T**

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 13

## 6. DATI PRINCIPALI DEL SERBATOIO DESUNTI DAL PROGETTO APPROVATO

- Altezza della diga (DM 24.03.1982) 35.40 m
- Altezza della diga (L. 584/1994) 33.12 m
- Altezza massima di ritenuta 32.12 m
- Quota di coronamento 921.12 m s.m.m.
- Franco (DM 24.03.1982) 1 m
- Franco netto (DM 24.03.1982) 0.46 m
- Sviluppo del coronamento 122 m
- Volume della diga 35.408 m<sup>3</sup>
- Classifica ai sensi del DM 24.03.1982 diga a gravità ordinaria
  
- Quota di massimo invaso 920.12 m s.m.m.
- Quota massima di regolazione 918.12 m s.m.m.
- Quota minima di regolazione 889.72 m s.m.m.
- Superficie dello specchio liquido
  - Alla quota di massimo invaso 0.359 km<sup>2</sup>
  - Alla quota massima di regolazione 0.311 km<sup>2</sup>
  - Alla quota minima di regolazione 0.002 km<sup>2</sup>
- Volume totale di invaso (ai sensi del DM 24.03.1982) 3.75 Mm<sup>3</sup>
- Volume di invaso (ai sensi della L 584/1994) 3.062 Mm<sup>3</sup>
- Volume utile di regolazione 2.86 Mm<sup>3</sup>
- Volume di laminazione 0.687 Mm<sup>3</sup>
- Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso 30.8 km<sup>2</sup>
- Portata di massima piena di progetto
  - Portata di picco 600 m<sup>3</sup>/s
  - Portata laminata 427 m<sup>3</sup>/s
- Contributo specifico di progetto 19.5 m<sup>3</sup>/s km<sup>2</sup>.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 14

### 6.1. Breve cronistoria

- Fase di progettazione ed approvazione: 1946-1956
- Esecuzione lavori: 1947-1955
- Data inizio invasi sperimentali: 1955
- Intervento di ripristino della tenuta del paramento (ICOS): 1965-1967
- Campagna di indagini (Soiltecnica) 1996
- Limitazione quota max. regolazione a 914.00 m s.l.m. 1998
- Limitazione quota max. regolazione a 910.00 m s.l.m. 1998
- Intervento di ripristino della tenuta dei giunti 1998
- Prove di laboratorio (ISMES) 1999
- Verifiche della sicurezza della diga (ISMES) 1999
- Ripristino e integrazione sistema di drenaggio 1999-2000
- Integrazione strumentazione di misura 1999-2000
- Limitazione quota max. regolazione a 914.00 m s.l.m. 2000
- Limitazione quota max. regolazione a 915.00 m s.l.m. 2001
- Studio possibili interventi (Ravagnoli) 2001
- Progetto Interventi sperimentali (Ravagnoli-Vitullo) 2002
- Esecuzione interventi sperimentali (RCT) 2004
- Progetto ripristino tenuta intero corpo diga (Farre-Ravagnoli) 2005
- Esecuzione intervento di ripristino tenuta corpo diga (RCT) 2007-2008
- Studio di fattibilità (CESI) 2017
- Esecuzione piano di indagini geognostiche 2021.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 15

## 7. RIEPILOGO DEGLI INTERVENTI STORICI

La diga di Govossai ha evidenziato fin dal corso delle prime prove d'invaso (1955-1956) la presenza di infiltrazioni d'acqua, con trafiletti lungo il paramento di valle, che hanno portato nel corso degli anni alla redazione di progetti e proposte di risanamento, all'esecuzione di dettagliate campagne geognostiche conoscitive, alla realizzazione di studi pilota, ad interventi di iniezione ed impermeabilizzazione coadiuvati da ulteriori sondaggi con prove in sito.

Nel seguito si ripercorre con estrema sintesi l'elenco degli interventi che si sono susseguiti: si rimanda agli elaborati RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA e RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SULLO SBARRAMENTO per i relativi approfondimenti, nonché agli elaborati originari relativi a tali interventi.

### 7.1. Esecuzione dei lavori (1947-1955)

La diga è stata costruita, per motivi di finanziamento, in due lotti (Lotto 1: 1947-1951, Lotto 2: 1952-1953):

- Lotto 1: realizzazione delle fondazioni e del corpo diga fino alla quota 906.12 m s.l.m. (Impresa "Binchi Francesco fu Giacomo");
- Lotto 2: completamento dell'opera (Impresa "M.Z.A. Lavori Idroelettrici e Industriali S.p.A.").

Nell'anno 1955 furono inoltre eseguiti dei lavori di completamento.

### 7.2. Primi invasi della diga (1955)

Gli invasi sperimentali iniziarono nel 1955. Già nel primo invaso (1955-1956) si osservarono perdite elevate dell'ordine dei 12 l/s. Le perdite sono state attribuite principalmente alla tenuta dei giunti della diga (non si riuscì a riempire i pozzetti dei giunti con bitume a causa dell'intasamento dovuto alle iniezioni di malta effettuate dietro al paramento di monte).

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 16

### **7.3. Intervento di ripristino della tenuta del paramento (1966-1967)**

Negli anni 1965-1967 fu eseguito, dall'impresa ICOS, un intervento di ripristino della tenuta del paramento. L'intervento è consistito nell'esecuzione di iniezioni cementizie con interasse di 2 m dal coronamento per l'intera altezza della diga. Inoltre, furono riperforati e riempiti di bitume i pozzetti dei giunti della diga.

### **7.4. Campagna di indagini Soiltecnica (1996)**

Nell'anno 1996, a seguito di valori elevati di perdite idrauliche riscontrate nei cunicoli, fu eseguita una campagna di indagini diagnostiche nel corpo di sbarramento (a cura dell'impresa Soiltecnica s.r.l.):

- N°10 sondaggi a carotaggio continuo (S1-S10, lunghezza totale 228 m circa)
- N° 84 prove di permeabilità tipo Lugeon per tratte di lunghezza 3 m
- N°8 sondaggi a distruzione di nucleo (D1-D8, lunghezza totale 276 m circa)
- N°56 prove di iniezione con miscela cementizia, con rapporto a/c=1/1 per tratte di 5 m.

### **7.5. Proposta di intervento ISMES (1999)**

Sulla base della campagna di laboratorio effettuata da ISMES nel 1999 (richiamata a seguire nel §8.2), e sulla base di verifiche su modello numeriche svolte dal medesimo soggetto, venne suggerita l'esecuzione dei seguenti interventi:

- Impermeabilizzazione del paramento di monte tramite membrana in PVC
- Iniezioni cementizie del corpo diga
- Riperforazione e integrazione del sistema di drenaggio.

### **7.6. Ripristino e integrazione del sistema di drenaggio (1999-2000)**

Il sistema di drenaggio originario era costituito da una serie di canne discendenti di diametro 180 mm e interasse 2 m, e da una serie di canne ascendenti di diametro 200 mm e interasse 4 m. Nel 1999 il sistema drenante è stato adeguato. Le canne discendenti sono state rialesate fino a 200 mm. Le canne ascendenti sono state rialesate fino a D=250 mm; sono dunque state aggiunte canne di nuova esecuzione con D=250 mm così da ridurre l'interasse a 2 m.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 17

### 7.7. Proposta di intervento Ravaglioli (2001)

Nell'anno 2001, al Prof. Ing. Ugo Ravaglioli venne affidato l'incarico di esplorare tutte le possibili soluzioni atte a ripristinare la completa efficienza dell'impianto di ritenuta. In data ottobre 2001, vennero proposti, nell'ambito di tale incarico, i seguenti interventi:

- Interventi mirati alla stabilizzazione:
  - Struttura in calcestruzzo di contrasto a valle
  - Rilevato in pietrame di contrasto a valle
  - Esecuzione di tiranti attivi da valle o dal coronamento
  - Appesantimento del coronamento mediante una struttura aggettante a monte e a valle del coronamento
  - Aumento del peso di volume mediante iniezioni
  - Bloccaggio dei giunti mediante iniezioni al fine di rendere la struttura monolitica
- Interventi mirati alla riduzione delle permeazioni:
  - Rivestimento del paramento di monte con malta o calcestruzzo
  - Rivestimento del paramento di Monte con una membrana in PVC
  - Rivestimento del paramento di monte con manto in acciaio
  - Esecuzione di uno schermo di iniezioni prossimo al paramento di monte
- Interventi mirati alla stabilizzazione e alla riduzione delle permeazioni:
  - Muro di calcestruzzo a contatto con il paramento di monte.

### 7.8. Interventi sperimentali (2002-2004)

A seguito delle proposte avanzate negli studi del Prof. Ing. Ugo Ravagliogli, venne attuata una campagna di iniezioni localizzate al concio compreso tra i giunti 4 e 5, dove vennero osservate le maggiori perdite d'acqua. Il relativo progetto venne emesso nel 2002, a cura del Prof. Ing. Ravaglioli in collaborazione con l'Ing. Vitullo, con il titolo "Interventi sperimentali per il ripristino della tenuta".

L'intervento venne eseguito dalla ditta RCT da Aprile a Luglio 2004, ed è consistito nell'esecuzione di 19 perforazione verticali a 1.15 m dal paramento di monte e a inter-distanza di 2.5 m. Le prove Lugeon, eseguite prima delle iniezioni, hanno restituito valori di permeabilità di  $10(-6) \div 10(-7)$  m/s.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 18

Successivamente alle iniezioni sono state eseguite prove Lugeon su fori secondari, con risultato di permeabilità inferiori rispetto ai fori primari pre-iniezione, anche se con qualche eccezione di permeabilità ancora elevate.

Le conclusioni sviluppate a seguito del campo prova, suggerivano di raggiungere una tenuta quasi totale con le modalità di iniezione adottate nel campo prova.

### **7.9. Esecuzione dell'intervento di ripristino della tenuta del corpo diga (2005-2008)**

Nel 2005 venne sviluppato il progetto di ripristino della tenuta dell'intero corpo della diga. Il progetto venne commissionato all'Ing. Farre, su supervisione del Prof. Ing. Ravaglioli. L'intervento venne eseguito ancora da RCT tra il 2007 e il 2008, prevedendo un'unica fila di iniezioni lungo il paramento di monte: sono stati iniettati circa 2800 m con assorbimento medio generale di 36 kg/m (56 kg nei fori primari, 22.6 kg nei secondari e 8 kg nei terziari). Le prove Lugeon post-intervento dimostrano il raggiungimento di permeabilità dell'ordine di  $10(-8) \div 10(-7)$  m/s.

### **7.10. Massima quota idraulica autorizzata**

L'organo procedente della gestione dell'impianto, costituito dalla Direzione Generale Dighe e dall'Ufficio Tecnico preposto di Cagliari, ha imposto come massima quota autorizzata il livello idraulico corrispondente a 905.00 m s.m.m., comunicato con nota prot. N. 20854 del 14.10.2015.

La quota autorizzata, ad oggi vigente, pari a 905 m s.m.m., è stata disposta a seguito del risultato dello studio di laminazione trasmesso all'Ufficio Dighe di Cagliari dall'Ente Gestore con prot. n. 83965 del 25.09.2015. Detto studio aveva preso in considerazione le piene occorse negli ultimi 15 anni, ricostruendo per ognuna di esse il relativo idrogramma di piena sulla base dei dati di livello. Nei relativi studi di laminazione l'obiettivo finale imposto era il non superamento della quota di 917 m s.m.m., indicata quale quota massima raggiungibile in occasione di eventi di piena (la quota limite è stata individuata nel valore di 917.62 m s.m.m., a seguito della rivalutazione statica dello sbarramento).

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 19

### 7.11. Studio di prefattibilità CESI (2017)

Nel 2017, CESI redige un documento che costituisce lo studio di fattibilità con analisi alternative relativo all'intervento di messa in sicurezza e ripristino capacità in-vaso della diga.

Il progetto degli interventi è finalizzato all'adeguamento dell'opera ai requisiti richiesti dalla normativa dighe attualmente vigente (NTD2014). Il progetto di adeguamento è stato sviluppato da CESI-ISMES e prevede fondamentalmente un intervento di appesantimento dello sbarramento e ripristino della tenuta del paramento di monte, al fine di riportare i valori dei coefficienti T/N di stabilità allo scorrimento entro i valori ammissibili statici e sismici richiesti dalla normativa vigente.

Lo studio ha individuato tre possibili soluzioni alternative:

- Soluzione 1: riprofilatura del paramento di monte realizzata mediante un getto in calcestruzzo continuo dello spessore costante di 1,5 m sull'intera altezza;
- Soluzione 2: riprofilatura del paramento di monte realizzata con un manufatto in calcestruzzo dello spessore di 1,5 m nella parte superiore ma con sezione maggiore lungo la base al fine di poter realizzare al proprio interno un nuovo cunicolo di drenaggio a cui recapitano gli schermi drenanti da realizzarsi sia con canne ascendenti e discendenti.
- Soluzione 3: installazione di un manto in geomembrana sul paramento di monte (brevetto Carpi).

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 20

## 8. RIEPILOGO DELLE INDAGINI STORICHE

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintesi delle varie campagne di indagine diagnostica e geognostica eseguite sull'impianto di ritenuta. Per maggiori approfondimenti si rimanda alla RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA e alla RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SULLO SBARRAMENTO.

Le attività storiche di campagna eseguite sono:

- Campagna di indagini Soiltecnica (1996)
- Prove di laboratorio ISMES (1999)
- Perforazioni e sondaggi eseguiti nell'ambito degli studi del Prof. Ravaglioli (2001-2004)
- Perforazioni e sondaggi eseguiti nell'ambito del progetto di Farre-Ravaglioli (2005-2008).

### 8.1. Campagna di indagini Soiltecnica (1996)

La campagna di indagini svolta da Soiltecnica s.r.l. (Figura 9) e richiamata al §7.4, ha evidenziato i seguenti risultati:

- La presenza di una muratura con elementi lapidei decimetrici immersi in un calcestruzzo medio-fine fortemente poroso e con presenza di “grandi vuoti” e qualche intercalazione terrosa; di migliore costituzione il calcestruzzo costituente lo zoccolo di base della diga; ottima la roccia di fondazione costituita da granodorite compatta poco fessurata
- Solo in 25 prove Lugeon su 84 si è potuti raggiungere la pressione di prova di 5-6 bar; in altre 21, 2-4 bar; sulle rimanenti 38, non si è potuto mettere in pressione la tratta
- Solo nelle 3 tratte più profonde dei fori D1, D2, D3 e D4, per un totale di 12 tratte su 56, si è reso possibile salire con la pressione delle prove di iniezione.



Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 22

ga sia costituito da muratura di pietrame di grosse dimensioni legato con calcestruzzo medio fine disomogeneo, poco addensato, poroso, con bolle da centimetriche a decimetriche, inerti scarsamente assortiti, dotato di caratteristiche fisico meccaniche mediocri, permeabile attraverso l'abbondante malta cementizia che lega fra loro i blocchi. La porosità è in larga parte minuta e come tale scarsamente iniettabile. I vuoti rilevati, e che hanno un ruolo ai fini della permeazione, sono quelli continui al contatto fra malta e blocchi. Il pietrame ha pezzatura di qualche decimetro, che diminuisce verso la base e scompare negli ultimi 1-2 m al contatto con la roccia di fondazione dove si riscontra un calcestruzzo di media-grossa pezzatura meglio assortito e addensato, ma dove permangono diffuse cavità.

Il peso di volume teorico della muratura dovrebbe essere, preso atto dei pesi di volume medi di calcestruzzo e muratura, di 2.45 t/mc, mentre il valore medio misurato è ben più ridotto e pari a 2.16 t/mc.

Gli stati tensionali anche nelle condizioni più gravose rientrano ampiamente nei limiti di ammissibili; più nello specifico gli sforzi trasmessi dalla struttura al terreno sono contenuti e di gran lunga inferiori all'ottima capacità portante della roccia in fondazione, costituita da granodiorite compatta, grigia, con poche diaclasi più aperte ed alterate in superficie, serrate in profondità. Si legge testualmente *"i sondaggi hanno permesso di constatare che il corpo diga, visto nel suo insieme, ha una struttura solida portante e poggia su una base estremamente sana"*.

La verifica allo scorrimento, effettuata non introducendo alcuna riduzione delle sottopressioni (in quanto i drenaggi non sono rispondenti ai requisiti normativi), tenuto conto della modesta densità media della muratura (2,16 t/mc valore rilevato, e 2,1 t/mc valore assunto, con un deficit di 0,3 t/mc rispetto al progetto originale) non è formalmente soddisfatta, ma viene espresso un giudizio positivo tenendo conto della risorsa strutturale derivante dalla forma arcuata della diga.

### **8.3. Perforazioni e sondaggi eseguiti nell'ambito degli studi del Prof. Ravaglioli (2001-2004)**

Nell'ambito degli studi affrontati dal Prof. Ravaglioli vennero eseguite complessivamente n° 19 perforazioni di lunghezza variabile fra 29,6m e 34,5 m, distanti 1,15 m dal paramento di monte. Venne impiegata una sonda dotata di doppio carotiere attraversando le murature fino ad intestarsi per 1-2 m nella roccia granitica. La perforazione è stata eseguita per tratte di 2,5 m da sottoporre a prove Lugeon, e quindi ad iniezione e riperforazione, attività queste eseguite su fori primari, secondari e

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 23

terziari. Le miscele erano ternarie di cemento, bentonite e acqua con superfluidificante.

Le stratigrafie delle perforazioni, eseguite a carotaggio, concentrate fra i giunti 4-5, registrano la presenza di un corpo diga in massi granitici con malta da degradata a molto degradata e/o fratturata, con una diffusa e quasi generalizzata presenza di vecchie iniezioni, locali fessure ossidate dal passaggio d'acqua, vespai e presenza di bitume. Vengono registrate perdite d'acqua di perforazione, spesso comunicanti con i paramenti monte e/o valle. L'RQD misurato nel corpo diga è nell'ordine del 70-80% con punte minime del 40-60%, talvolta anche inferiore. La roccia granitica è compatta, mai alterata o arenizzata, solo a tratti fratturata, con RQD mediamente dell'85-100%, e viene riscontrata lungo una superficie leggermente irregolare posta attorno alla quota di 888-889 mslm, con un culmine a 893 mslm. Fra substrato roccioso e muratura si interpone uno strato di fondazione in calcestruzzo dello spessore di circa 2-2,5 m.

In tale contesto vennero eseguite n°215 prove Lugeon a 5 gradini, impiegando pressioni inferiori rispetto 1-2-3-2-1 bar: nel corpo diga la permeabilità risulta fra 10(-6) e 10(-7) m/s.

Le prove Lugeon nelle murature confermarono una situazione di permeabilità diffusa, che ha permesso di riconoscere a grandi linee due fasce maggiormente permeabili, una sommitale di circa 4-5 m di spessore ed una circa all'altezza della ripresa di costruzione fra i due lotti di costruzione, a quota 906,12 m s. m.m., e più in generale a cavallo e al di sotto di essa, fra 10-30 m di profondità dal coronamento. La permeabilità della fondazione in calcestruzzo è inferiore di 1-2 ordini di grandezza rispetto a quella del corpo diga, anche se mantiene una certa variabilità e talvolta può assumere valori analoghi. La permeabilità del granito è sostanzialmente bassa, con valori localmente e solo relativamente più elevati in virtù di una maggiore fratturazione messa in luce anche dai sondaggi e dal parametro RQD.

#### **8.4. Perforazioni e sondaggi eseguiti nell'ambito del progetto di Farre-Ravaglioli (2005-2008)**

Nell'ambito del progetto curato da Farre-Ravaglioli e della relativa esecuzione ad opera della ditta RCT (207-2008), vennero eseguiti n. 7 sondaggi di profondità pari a 10-30 m. Le perforazioni poste nella parte centrale dello sbarramento hanno riscontrato, fra corpo diga e roccia, una fondazione in calcestruzzo dello spessore di

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 24

2 – 5 m, che sembra assente nei sondaggi laterali prossimi alle due sponde. Dalle stratigrafie si evince una granodiorite grigia prevalentemente sana, inalterata e compatta.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 25

## **9. CAMPAGNA DI INDAGINI TOPOGRAFICHE, GEOGNOSTICHE E DIAGNOSTICHE NELL'AMBITO DEL PRESENTE PROGETTO (2021-2022)**

Per un approfondimento propedeutico alla presente fase progettuale è stato predisposto un articolato piano d'indagine volto a definire caratteristiche dei terreni e materiali, oltre alla mappatura difettologica su ciascun corpo d'opera oggetto d'intervento. Le attività eseguite sono le seguenti.

- 1) RILIEVO: Rilievo topografico plano-altimetrico, rilievo geologico dell'area circostante lo sbarramento e rilievo dei manufatti esistenti
- 2) CORPO DI SBARRAMENTO: Indagini diagnostiche sul corpo di sbarramento e geognostiche in fondazione;
- 3) SFIORATORE: ispezione visiva e rilievo difettologico delle parti d'opera costituenti lo sfioratore, oltre ad indagini diagnostiche e geognostiche;
- 4) VIADOTTO SOPRASTANTE LO SFIORATORE: ispezione visiva e rilievo difettologico delle parti d'opera costituenti il viadotto, e indagine diagnostica;
- 5) CASA DI GUARDIA: verifica geometrica delle parti d'opera costituenti la copertura della casa di guardia, ispezione visiva e rilievo difettologico del fabbricato;
- 6) SCARICO DI FONDO: definizione geometrica degli elementi costituenti lo scarico di fondo (tubazione, giunti, selle, valvole, ecc.) ed indagine diagnostica sulla tubazione costituente lo scarico.

Le sopraelencate attività, da 2 a 6, sono state affidate alla ditta TecnoIn S.r.l. direttamente da Abbanoa S.p.A. e svolte nel corso della primavera – estate del 2022. L'attività 1 è invece stata realizzata sempre da TecnoIn S.r.l. su incarico di RTP.

I relativi risultati delle attività diagnostiche e geognostiche sono contenuti nel capitolo IGE del presente PFTE.

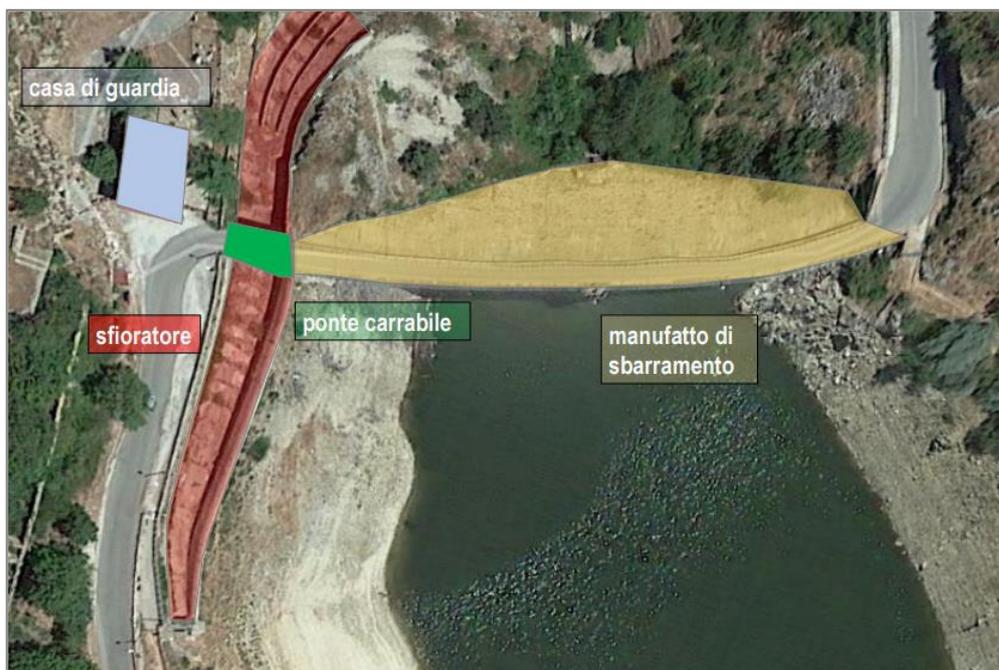
Nel presente capitolo sono sintetizzati i risultati delle indagini, riportando solo alcuni cenni: per gli approfondimenti, si rimanda agli elaborati specifici del presente PFTE.

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 26
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

## 9.1. Rilievo topografico e mappature difettologiche

Le attività di rilievo sono state svolte con l'ausilio di strumentazioni Laser scanner tridimensionale, supportate da una campagna topografica e GPS finalizzata alla georeferenziazione dei modelli acquisiti.

Nel dettaglio è stato eseguito il rilievo delle seguenti opere: corpo di sbarramento, il viadotto/passerella carrabile, lo sfioratore e la casa di guardia. Le prese sono state eseguite dalla strada e dalle strutture prospicienti, contestualizzando i manufatti con l'area circostante. È stata eseguita anche una fotogrammetria da drone dell'area finalizzata al rilievo digitale del terreno, sia a valle che a monte della diga.



**Figura 10 – Planimetria dell'impianto con indicazione delle opere oggetto di rilievo**

Il rilievo geometrico delle strutture è stato effettuato mediante l'utilizzo di scanner laser tridimensionale. I Laser Scanner 3D adottati utilizzano un'avanzata tecnologia, conosciuta come "misura di fase", per misurare distanze dalla stazione di presa alle superfici colpite dal raggio laser.

In questo caso specifico, data la tipologia del rilievo ed il sito di indagine, ci si è avvalsi del modello Zoller + Fröhlich IMAGER® 5016X (Figura 11), in grado di acquisire sino a 1 milione di pixel al secondo con un fronte visivo di 360° x 320° e di colorare la nuvola in valori di RGB con camera digitale calibrata.

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 27
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

Precisione strumentale	± 0.6 mm	
Tasso di acquisizione	Un milione di punti al secondo	
Densità della nuvola	1 mm (verticale) / (orizzontale)	
Campo di vista	360° lungo l'asse orizzontale e 320° lungo l'asse verticale	
Massima gittata	0 – 350 metri (a seconda della riflettività dell'oggetto)	
Temperatura d'utilizzo	da 0° a 40°C	

**Figura 11 – Principali caratteristiche strumentali del Laser Scanner Tridimensionale Z+F Imager 5016x**

Durante le fasi di rilievo in situ, le singole scansioni sono state vincolate a specifici target dedicati, installati nell'intorno delle strutture e successivamente georeferiti mediante i rilievi topografici e satellitari.

Il risultato finale è un unico modello 3D delle nuvole di punti, correttamente referenziato rispetto ai suddetti target, contenente le informazioni geometriche di tutti gli elementi rilevati. Il sistema di riferimento usato per geo referenziare il rilievo è: UTM WGS84 f32. I dati digitali acquisiti in campagna sono stati processati attraverso l'utilizzo di software specifici che hanno permesso la gestione in ambiente CAD dell'intero modello.

Dalle rilevazioni topografiche sono emerse alcuni elementi di interesse geometrico per le valutazioni di carattere idraulico:

- La soglia superiore del petto stramazzante ha mediamente quota pari a 917.95 m s.m.m.; diversamente, nel Foglio di Condizioni la quota dello sfioro, corrispondente alla quota massima di regolazione, è dichiarata pari a 918.12 m s.m.m., ovvero 17 cm superiore rispetto a quanto rilevato. Le valutazioni idrauliche riportate nel presente PFTE corrispondono alla quota reale di sfioro, ovvero 917.95 m s.m.m.
- Il coronamento della diga possiede quota topografica pari mediamente a 920.91 m s.m.m.; diversamente, nel Foglio di Condizioni, è dichiarate una quota di coronamento pari a 921.12 m s.m.m., ovvero 21 cm superiore rispetto a quanto rilevato. Nel presente Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica viene prevista la demolizione del pacchetto attuale di coronamento, ritenuta indispensabile sia per ripristinare la funzionalità carrabile a seguito delle iniezioni che per la realizzazione di appropriati cordoli laterali sui quali fissare i dispositivi di sicurvia; la nuova esecuzione del pacchetto di coronamento prevede di fissare la quota sommitale pari al 921.12 m s.m.m., in aderenza a quanto previsto nel Foglio di Condizioni.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 28

Il rilievo è stato esteso anche all'interno dei cunicoli che percorrono la struttura muraria del corpo diga, ed è stato approfondito con indagini difettologiche relative ai seguenti corpi d'opera:

- Cunicoli, lungo il quale sono stati riconosciuti e mappati
  - Fori in calotta
  - Presenza di infiltrazioni e macchie
  - Microlesioni con efflorescenza
  - Fessurazioni, senza e con presenza di materiale bituminoso
  - Distacchi
  - Muffa
- Sfiatore e ponte carrabile, con individuazione di
  - Lesioni e lesioni diffuse
  - Porzioni con assenza di copriferri e con esposizioni delle armature (solo in corrispondenza del ponte)
  - Parti con assenza di intonaco
  - Presenza di vegetazione o muschi
- Casa di guardia, con individuazione di:
  - Porzioni con intonaco distaccato
  - Presenza di macchie d'umidità
  - Parti di copertura con controsoffitto ceduto
  - Fessurazioni
  - Macchie.

## 9.2. Corpo di sbarramento

L'analisi delle risultanze delle indagini pregresse ha evidenziato come *“il corpo diga, visto nel suo insieme, ha una solida struttura portante e poggia su una base estremamente sana”*. Di contro è presente un reticolo di vuoti preesistenti e/o creati dall'azione dell'acqua in corrispondenza del cemento che lega i blocchi granitici con cui è realizzato il corpo di sbarramento stesso. Ciò è stato evidenziato fin dalle prime prove d'invaso attraverso importanti perdite e filtrazioni che sottolineano la presenza di una muratura ad alta permeabilità, con una continuità idraulica che si realizza tra il paramento monte e valle pur in presenza delle canne drenanti, ed è stato ribadito attraverso la stima di un peso complessivo della diga inferiore alle previsioni progettuali.

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 29
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

Le indagini geognostiche previste in quest'ambito si focalizzano sulle grandezze fondamentali per la verifica geotecnico-strutturale della diga, necessarie per la scelta e il dimensionamento dell'intervento di risanamento.

Sono pertanto stati eseguiti:

- n° 5 sondaggi a carotaggio continuo sul coronamento diga (Figura 12), verticali o inclinati in modo tale da non intercettare il cunicolo, di profondità variabile fra 44,90 m e 31,7 m da p.c., spinti per circa 10 m nel substrato roccioso in posto
- n° 38 prove di permeabilità tipo Lugeon in foro di sondaggi
- prelievo di campioni di muratura, calcestruzzo di fondazione e granito per l'esecuzione di prove di laboratorio
- log ottici nei fori di sondaggio e nei fori delle canne drenanti;
- le specifiche tecniche prevedevano anche l'esecuzione di log acustici e sonici nei fori di sondaggio, che in corso d'opera non sono stati eseguiti per l'impossibilità di mantenere i fori pieni d'acqua. È stata quindi prevista in n° 4 fori di sondaggio ubicati sul coronamento diga l'installazione di rivestimenti di PVC (da utilizzare anche come piezometri) attraverso cui eseguire prove geofisiche tipo down hole e cross hole.



**Figura 12 – Planimetria dell'impianto con ubicazione dei sondaggi distribuiti sul corpo diga e sullo sfioratore**

Le indagini in campo hanno inoltre previsto l'esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione di diversi parametri, quali:

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 30

- massa volumica apparente e reale
- porosità totale aperta
- resistenza a compressione uniassiale
- modulo elastico tangente al 50% dello sforzo di picco  $E_{tg}$
- modulo elastico secante al 50% dello sforzo di picco  $E_{sec}$
- coefficiente di Poisson
- resistenza a trazione
- prova triassiale in cella di Hoek
- permeabilità in cella di Hoek.

Questi parametri sono stati ricavati a partire da provini di muratura, di calcestruzzo in fondazione e dell'ammasso roccioso di granito. Per la caratterizzazione della muratura sono stati prelevati n. 29 provini. Ciascun provino presenta caratteristiche diverse a seconda della percentuale relativa tra la porzione di calcestruzzo e quella degli inerti di granito. Per tale motivo, nell'analisi dei dati è stata proposta la seguente distinzione:

- 1) campioni esclusivamente costituiti dagli inerti di granito
- 2) campioni esclusivamente costituiti da legante di calcestruzzo
- 3) campioni costituiti da entrambi i materiali sopra citati.

Da quanto si può osservare sia dalle carote estratte dalle perforazioni lungo il coronamento, sia dalle immagini restituite dai log ottici, l'ammaloramento riscontrato non è omogeneo all'interno del corpo diga. Si deduce infatti che generalmente è la parte più profonda del corpo diga che presenta maggiori segni di ammaloramento, e più nello specifico a partire da 15 m di profondità dal coronamento. In questi tratti la muratura presenta spesso cavità che permettono all'acqua di fluire. Gli effetti della presenza dell'acqua e del suo scorrimento si ripercuotono sul calcestruzzo che col tempo prima si deteriora e poi viene dilavato lasciando quindi ulteriori cavità ad alimentare un ciclo che porta al progressivo degrado e dilavamento dell'intero corpo murario. Per il momento le zone dove il fenomeno di degrado è più evidente sono localizzate soprattutto attorno a S1, S2 e S4.

Anche le indagini geofisiche riportano uno stato della diga peggiore a partire da 15 metri di profondità lungo i fori di sondaggio investigati. Tuttavia, pare che a partire dalla base della muratura dove inizia la parte di fondazione in calcestruzzo i parametri riassumano valori buoni.

Le prove di permeabilità Lugeon hanno evidenziato delle incongruenze con quanto sin qui detto. I valori di permeabilità rilevati infatti sono spesso non correlabili con

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 31

lo stato della muratura osservato manovra per manovra e quindi con la distribuzione delle cavità. A valle delle indagini eseguite e dei confronti attuati tra i risultati di queste indagini e di quelle avvenute dal 1996 ad oggi, si propongono di seguito i valori rappresentativi dello stato attuale del corpo in muratura della diga di Govosai:

	$\gamma_{app}$ (kN/mc)	$\sigma_c$ (MPa)	E (GPa)	$\sigma_t$ (MPa)
<b>Muratura</b>	20,7	18,0	20,0	1,0
<b>Calcestruzzo di fondazione</b>	22,5	21,0	24,5	2,0

Sostanzialmente la muratura presenta due stati di ammaloramento: uno di minor degrado in cui il calcestruzzo che ingloba i blocchi di granito non risulta alterato, ma sono tuttavia presenti pori e cavità di dimensioni che raggiungono i 2-3 cm, indici di una mal riuscita permeazione durante le prime fasi di gettata o di un dilavamento successivo e un secondo stato di degrado in cui il calcestruzzo si presenta alterato e in uno stato di disgregazione; in questi tratti le cavità possono raggiungere dimensioni superiori ai 10 cm.

### 9.3. Sfiatore

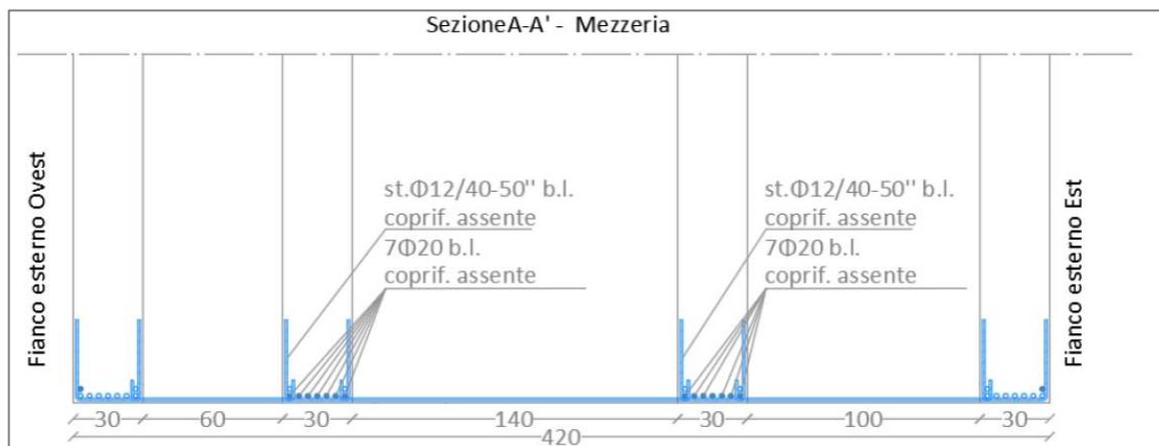
In corrispondenza dello sfiatore sono state condotte le seguenti attività di indagine:

- Indagini pacometriche sia sul paramento lato canale che sul paramento lato bacino. Ulteriori indagini sono state eseguite sul fondo del canale; in tutti i casi non è stata rilevata presenza di armature
- Sono stati eseguiti n°9 sondaggi geognostici (Figura 13), al fine di caratterizzare sia la muratura che la qualità del materiale retrostante o in appoggio
- Prelievo di n°2 carote di calcestruzzo per prove di rottura a compressione e indagini SONREB. Il valore medio di rottura è risultato pari a 12.1 Mpa.

L'analisi dei risultati ha confermato la necessità di considerare la struttura come un'opera a gravità. Il relativo calcestruzzo può essere assimilabile a Rck 120 o C10/12.



Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 33
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			



**Figura 14 – Sezione trasversale del ponte con indicazione delle armature rilevate da indagini pacometriche**

Sono poi stati eseguiti n. 4 prelievi di carote di calcestruzzo dalle pareti laterali del ponte, due sul fianco Ovest e due sul fianco Est, ed è stato eseguito un controllo della profondità di carbonatazione; l'esito delle verifiche condotte è stato il seguente:

- Il processo di carbonatazione è penetrato per profondità variabili tra 46 e 83 mm, con valore medio di 71 mm, ben oltre quindi la posizione delle armature
- Le carote di calcestruzzo sono state sottoposte a prove di rottura a compressione; unitamente all'impiego di prove SONREB diffuse anche su altre parti del ponte esistente si è valutato un valore medio di rottura pari a 15 Mpa.

## 9.5. Casa di guardia

La costruzione, edificata su due livelli e della superficie coperta di 173 m<sup>2</sup>, si compone al piano terra di un vano scala e 4 vani di cui uno con accesso carrabile. Al piano primo, originariamente destinato alla casa del custode, è costituita da otto vani e due locali destinati ai servizi igienici.

A seguito dei sopralluoghi effettuati si è potuto riscontrare che l'immobile si trova in cattivo stato di manutenzione e sono presenti problemi statici nella copertura che rendono inagibile l'intero piano.

A seguito del sopralluogo effettuato si è potuto constatare un buono stato generale delle murature di tamponamento e di spina e non si rilevano particolari dissesti o cedimenti. Anche il solaio di separazione tra il piano terra e primo appare in buono stato di manutenzione e non presenta cedimenti o fessurazioni. Diversa è la situazione della copertura in quanto, a seguito di infiltrazioni d'acqua, è da tempo crol-

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 34

lata gran parte della controsoffittatura originariamente costituita da una struttura con arcarecci in legno e pannellature in rete metallica e malta.



**Figura 15 – Ripresa fotografica della casa di guardia dalla strada SP2ter**

Al fine di potere prevedere gli adeguati interventi di ristrutturazione, sono state eseguite una serie di prove per caratterizzare i vari materiali costituenti l'edificio:

- indagini pacometriche e saggi visivi
- prelievo di campioni di calcestruzzo delle travi perimetrali
- prove di laboratorio sulla resistenza dei calcestruzzi prelevati
- indagini Son Reb
- indagini durometriche sugli elementi lignei portanti.

Particolari criticità sono state rilevate in corrispondenza dei quattro arcarecci portanti parte della copertura, che risultano debolmente armate per i carichi di normativa. In più punti, inoltre, è rilevabile l'assenza di copriferro con armature esposte a fenomeni di forte corrosione. Le travi perimetrali della copertura risultano invece in uno stato di consistenza migliore, non essendo presenti cedimenti o fessurazioni. Tuttavia, le armature rilevate dalle prove pacometriche risultano inadeguate per i carichi a cui è sottoposta la copertura. Il livello di carbonatazione corrisponde ad una profondità di penetrazione pari a 35 mm. Le prove di laboratorio sui campioni di calcestruzzo indicano un valore di Resistenza media alla rottura pari a 13 Mpa.

## **9.6. Scarico di fondo**

Lo scarico di fondo è ubicato nel concio centrale del corpo diga ed è costituito da una condotta  $\phi$  800 (DE 840), dotata di griglia di protezione a monte, ed intercettata rispettivamente, procedendo da monte verso valle:

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 35

- Da una saracinesca inattiva, che risale all'assetto originario dell'opera
- Una valvola a farfalla, utilizzabile solo manualmente
- Una valvola a farfalla, utilizzabile sia manualmente che con comando. Tale valvola è collocata alla sezione finale dello scarico di fondo, ed è stata inserita contestualmente ad una derivazione dallo scarico di fondo.

La quota assiale della condotta allo sbocco risulta pari a 889.82 m s.m.m.; la lunghezza è di circa 30 m.

L'ispezione visiva della condotta ha evidenziato la presenza diffusa di ruggine sull'intero sviluppo dell'opera, estesa anche a flange e valvole; si nota anche l'essiccazione dello strato più esterno della vernice.

La tubazione dello scarico di fondo, che mantiene sempre attivo il funzionamento dedicato allo scarico delle acque al fine di regolare il livello d'invaso, è stata sottoposta ad indagini durometriche e a misurazione ispessimetriche. Vista la circostanza, sarebbe preferibile una caratterizzazione dell'opera con indagini invasive, prevedendo, ad esempio, l'estrazione di uno spezzone di tubazione da sottoporre a prove strumentali di laboratorio; anche un'ispezione interna con telecamere potrebbe risultare favorevole in casi analoghi: tuttavia, l'impossibilità di presidiare lo scarico non ha consentito tali approfondimenti.

Il valore medio di durezza Brinell ricavato dalle prove durometriche risulta pari a 557 Mpa, che corrisponde ad una resistenza a trazione media dell'acciaio  $R_m=1941$  Mpa. Lo spessore medio riscontrato nello scarico di fondo risulta pari a circa 5.6 mm.



**Figura 16 . Ripresa fotografica della tubazione dello scarico di fondo in corrispondenza della valvola originaria di regolazione dello scarico, ad oggi inattiva**

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 36

## 10. CONTESTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il Comune di Fonni con l'invaso e la diga di Govossai ricade nel foglio 207 "Nuoro" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. Trattasi di un ambito impostato su rocce vulcaniche granitoidi facenti parte del complesso intrusivo del Carbonifero superiore – Permiano della Sardegna ("batolite sardo-corso). Più nel dettaglio attribuite, secondo la nomenclatura geologica più recente, alla facies Lodine (sigla NN1c) dell'unità intrusiva di Fonni sono granodioriti tendenzialmente monogranitiche a frana media o fine moderatamente equigranulari con abbondante plagioclasio e a sola biotite passanti, nel Bacino del Rio Govossai e quindi nel sedime della diga, a micograniti a plagioclasio, oroclasio e biotite talora autonomi rispetto al granito normale.

Sul substrato roccioso granitico può essere presente una coltre di alterazione che, laddove spinta, ha subito un processo di arenizzazione presentandosi come un "sabbione" da cementato a debolmente cementato, con passaggio graduale verso il basso, nell'arco di pochi metri (normalmente 3-5m), alla roccia sana. Localmente possono essere presenti plaghe di depositi quaternari di origine colluviale o alluvionale originati a spese delle stesse rocce granitiche e come tali costituiti, granulometricamente, da prevalenti sabbie e ghiaie eterogenee; il relativo spessore, ove riscontrate, è modesto e come tale difficilmente cartografabile e poco rappresentativo ai fini progettuali.

Non sono state riscontrate nel sedime della diga, né in superficie né in corrispondenza delle terebrazioni geognostiche, significative manifestazioni filoniane che per contro sono cartografate più ad ovest.

Lo stile tettonico della zona ricalca fedelmente le linee regionali principali secondo gli allineamenti E-W e NE-SW. Il complesso sistema di faglie e fratture è riferibile alle fasi tardive dell'Orogenesi Ercinica sino alle prime fasi dell'Orogenesi Alpina. Nel sedime di progetto e sue immediate vicinanze non è stato riscontrato, coerentemente con la documentazione bibliografica, alcun macroscopico indizio riconducibile ad una significativa tettonica locale, anche se la presenza di diffusi fenomeni di arenizzazione del granito in corrispondenza dello sfioratore non permette di escludere categoricamente la presenza in quest'ambito di tale evenienza. Le indagini eseguite hanno messo in evidenza le buone/ottime caratteristiche del granito in corrispondenza dell'opera di sbarramento escludendo, quantomeno in diretta corrispondenza di esso, la presenza di lineazioni tettoniche, fasce cataclasiche o zone di debolezza tali da interferire significativamente con le fondazioni dello sbarramento.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 37

In coerenza con le buone caratteristiche dei materiali la documentazione consultata relativa al PAI ed al catalogo IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia) non evidenzia la presenza di perimetrazioni di frana in atto o potenziali entro e in un ampio intono dello sbarramento e dell'invaso. La pericolosità geomorfologica del sedime progettuale è da considerarsi bassa.

Se da un lato possono dirsi sostanzialmente assenti i fenomeni d'instabilità che coinvolgono masse considerevoli, non può essere escluso il locale distacco e conseguente caduta per rotolamento di blocchi lapidei eterometrici laddove le pendenze sono maggiori e i sistemi di fratture isolano prismi rocciosi potenzialmente instabili.

Dal punto di vista idrogeologico le rocce granitoidi sono ascrivibili alla categoria dei terreni permeabili per fratturazione; la loro permeabilità è variabile in funzione del grado di fratturazione ed alterazione locale e nel caso specifico risulta, tendenzialmente, variabile da scarsa a medio bassa. Questo perché nel sedime in studio si rileva una situazione relativamente eterogenea con zone assai poco fratturate accanto ad altre che denotano un certo grado di fratturazione locale, seppur generalmente limitato. Le stesse fratture sono maggiormente aperte in superficie e tendono a serrarsi in profondità. Un maggior grado di fratturazione ed alterazione è evidente, a tratti, nelle porzioni più superficiali e tende a diminuire con la profondità fino ad annullarsi già nell'arco di pochi metri. Ne consegue per gli ammassi granitoidi una circolazione idrica limitata, fortemente compartimentata, ove presente spesso relegata ai livelli più superficiali, magari anche con carattere effimero. La permeabilità è nel complesso bassa; ciò non toglie comunque che possano esservi fasce localizzate a maggiore fratturazione e quindi maggiore permeabilità.

Nell'area in studio non sono state riscontrate forme di accumulo idrico superficiale o subsuperficiale mentre non può escludersi una circolazione profonda (>50 m) comunque non interferente con le opere in progetto.

Una permeabilità da media ad elevata per porosità può attribuirsi alle modeste plaghe di depositi colluviali o alluvionali presenti lungo i versanti. Analogamente una permeabilità per porosità può interessare la coltre arenetizzata del granito.

Fra la documentazione messa a disposizione sono disponibili i risultati di indagini geognostiche pregresse eseguite, soprattutto nel periodo compreso fra il 1996 e il 2008, oltre ad interventi di iniezione dapprima sperimentali su un concio e successivamente estesi a tutto lo sbarramento. Ad integrazione delle indagini disponibili è stata condotta nell'anno 2022, in ottemperanza alle specifiche tecniche redatte dal progettista, una campagna geognostica integrativa.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 38

Per quanto si evince dalle indagini eseguite nelle diverse fasi la diga poggia direttamente ed uniformemente su una roccia granodioritica in assenza di coltre di alterazione la quale, ove presente, è stata interamente asportata in fase di costruzione. Trattasi di un materiale dalle ottime caratteristiche di resistenza e deformabilità, ampiamente compatibili con le sollecitazioni trasmesse, compatta, con poche fratture, normalmente poco permeabile. I sistemi di frattura sono prevalentemente ad elevato angolo così come osservabile in affioramento. In profondità le fessure sono chiuse o serrate mentre in affioramento si riscontrano talvolta accostate o leggermente aperte; le superfici sono normalmente lisce o poco ondulate.

Il profilo geomeccanico del corpo di sbarramento allegato al progetto riepiloga i risultati emersi dai carotaggi e dalle prove in sito effettuate nelle diverse fasi. Buona risulta la coerenza fra il tetto della roccia e le caratteristiche della stessa dal confronto fra le indagini pregresse e quelle del 2022.

Sullo sfioratore, e contrariamente a quanto avviene in corrispondenza dello sbarramento, le indagini eseguite hanno accertato la presenza di un'ampia plaga di granito alterato ed arenetizzato, carotato come sabbia, di spessore plurimetrico (fino ad oltre 7m nelle indagini pregresse), zone con granito molto fratturato passanti ad altre attigue con granito moderatamente fratturato. La facies arenetizzata pur se dotata di caratteristiche marcatamente inferiori rispetto al granito lapideo, a livello strutturale sembra comunque compatibile con l'opera e non si ravvisano elementi riconducibili a cedimenti o deformazioni delle strutture in fondazione, o spinte elevate sui muri di contenimento. Ma la stessa facies arenetizzata è dotata di una permeabilità francamente superiore, per porosità e subordinatamente per fratturazione, di cui è opportuno tener conto nel valutare gli interventi di ripristino e messa in sicurezza dello sfioratore. Allo stato attuale infatti l'acqua è in grado di permeare nel granito arenetizzato, tanto che i carotaggi eseguiti nel 2022 rilevano la presenza di piccoli vuoti creati dal dilavamento operato dalle acque di infiltrazione.

In sponda sinistra è stata rilevata la presenza di un affioramento granodioritico molto fratturato, con fratture aperte, alterate, intersecanti fra loro in modo da isolare volumi potenzialmente instabili. Un loro distacco potrebbe portare al rotolamento di blocchi pluridecimetrici verso lo sbocco del cunicolo in zona scarico di fondo.

Condizioni di possibili caduti massi interessano un breve tratto della SP2ter in sponda destra, in aree comunque esterne agli interventi facenti parte dell'incarico.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 39

Dal punto di vista sismico la Sardegna può essere descritta come un'antichissima zolla continentale, vero relitto Paleozoico isolato e solo parzialmente smembrato a causa della sua rigidità durante la rotazione imposta dall'orogenesi alpina. Pertanto mentre l'Italia, situata nella zona di convergenza fra zolla africana ed eurasiatica, è uno dei paesi a maggiore rischio sismico del mediterraneo per la frequenza dei terremoti che hanno storicamente interessato il suo territorio, e per l'impatto sociale ed economico di questi eventi, la Sardegna per effetto della particolare posizione non registra una attività sismica recente e si dimostra, nel complesso, un territorio a pericolosità sismica molto modesta. Tale bassa sismicità si riflette nella normativa, tanto che la Sardegna nelle classificazioni sismiche sino al 2003 era interamente considerata non sismica. Con l'O.P.C.M. 3274 del marzo 2003 tutto il territorio nazionale è considerato sismico, ed i Comuni dell'isola vengono inseriti in classe 4, la più bassa possibile su scala nazionale.

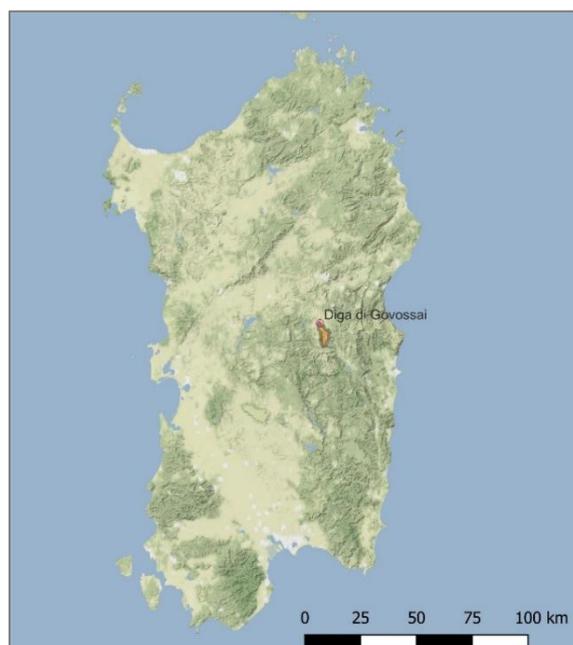
Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 40

## 11. IDROLOGIA E IDRAULICA

### 11.1. Caratteristiche del bacino contribuente

La diga di Govossai sbarra il rio Govossai, piccolo affluente del Rio Olai, il quale a sua volta appartiene al bacino del fiume Taloro, affluente di sinistra del Tirso.

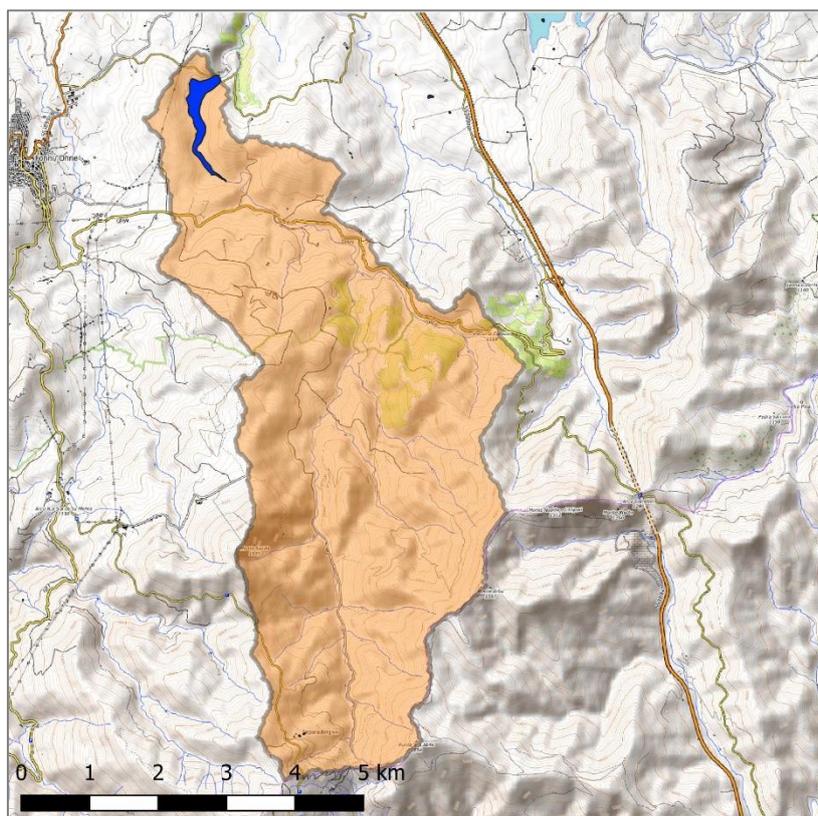
La posizione della diga di Govossai è indicata nella Figura 17, nella quale è anche rappresentato il bacino imbrifero sotteso dallo sbarramento. Elaborando con tecniche GIS le informazioni altimetriche rese disponibili dal modello digitale del terreno (DTM) della Regione Sardegna, avente risoluzione spaziale di 10 m x 10 m, è stato estratto il reticolo idrografico e delimitato il bacino idrografico, che è rappresentato in maggior dettaglio nella Figura 18.



**Figura 17 – Ubicazione della diga di Govossai**

Sempre con tecniche GIS, sono stati ottenuti i principali parametri morfometrici del bacino. Dalle elaborazioni condotte sul DTM è risultato che il bacino imbrifero ha un'estensione di 29.7 kmq, con una quota massima di 1596 m.s.l.m. e quota media di 1161.5 m.s.l.m.; la lunghezza dell'asta principale è pari a 12370 m. Si segnala che il valore dell'area del bacino, ricalcolato in base al DTM, risulta leggermente inferiore a quello indicato nel FCEM, pari a 30.8 kmq. Con i predetti valori dei parametri è stato stimato il tempo di corrivazione del bacino, che secondo la formula di Giandotti risulta pari a 3.05 hr.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 41



**Figura 18 – Bacino idrografico sotteso dalla diga di Govossai**

## **11.2. Stima degli idrogrammi di piena**

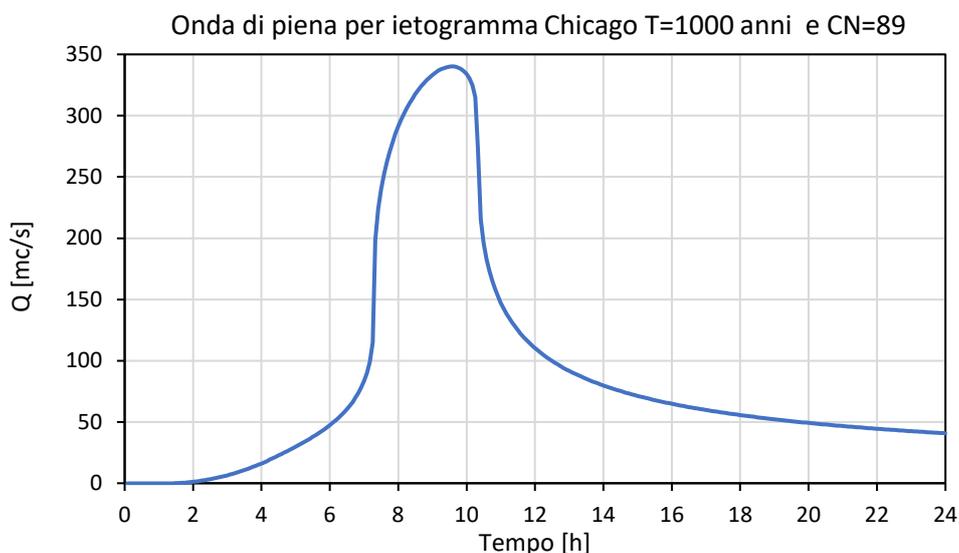
La stima degli idrogrammi di piena è stata condotta con diversi approcci metodologici, di tipo diretto ed indiretto; le valutazioni sono state svolte per periodi di ritorno  $T_r=50, 100, 200, 500$  e  $1000$  anni (Tabella 1), assumendo quest'ultimo come idrogramma (Figura 19) per la verifica delle opere esistenti, avendo considerato che il nuovo contromuro previsto in progetto modifica significativamente la costituzione dello sbarramento, tanto da poterlo assimilare ad un manufatto di nuova realizzazione.

La stima delle portate di piena di assegnato tempo di ritorno è stata condotta seguendo diversi approcci metodologici, in modo da avere a disposizione un ampio ventaglio di analisi; è stata data maggior affidabilità ai metodi indiretti, che forniscono stime di maggior prudenza rispetto alle analisi di tipo diretto. La stima degli idrogrammi, pertanto, è stata condotta ricorrendo alla valutazione delle piogge secondo il metodo VAPI; lo ietogramma è stato invece riprodotto secondo la forma Chicago; infine, si è ricorsi ad un modello afflussi-deflussi basato sul metodo di filtrazione SCS (Soil Conservation Service).

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 42
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

**Tabella 1 – Stime adottate per la portata al colmo di  
assegnato tempo di ritorno in ingresso  
alla diga di Govossai**

Tempo di ritorno T [anni]	Q(T) [mc/s]
50	198.2
100	231.3
200	264.3
500	307.6
1000	340.1



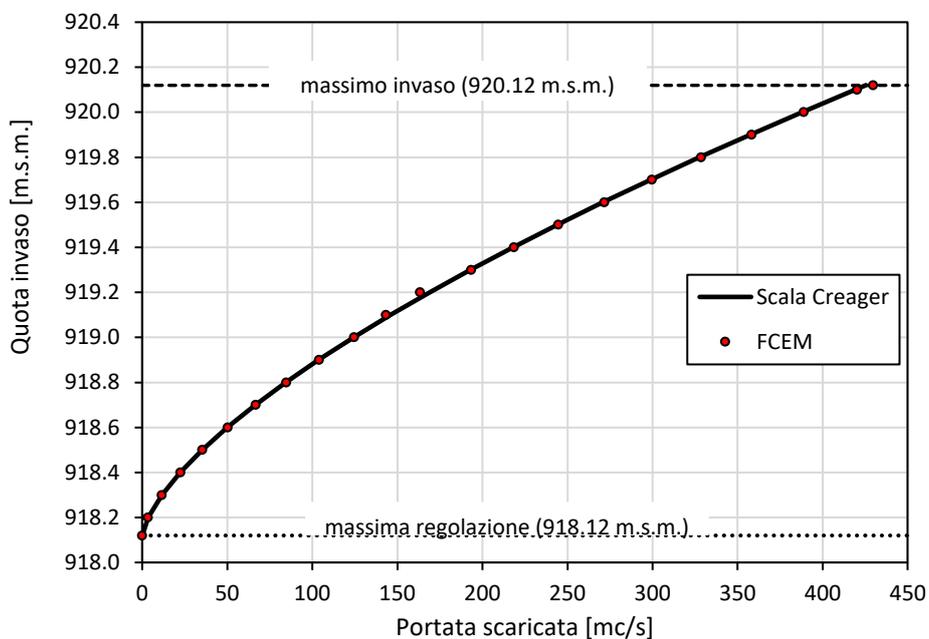
**Figura 19 - Simulazione dell'onda di piena millenaria in ingresso all'invaso, con ietogramma Chicago, modello di formazione del deflusso CN-SCS e modello di trasferimento cinematico.**

### 11.3. Capacità dello scaricatore di superficie

La scala di deflusso dello scarico di superficie è riportata nel FdC, nel quale viene indicato che essa è desunta per uno scarico sagomato secondo un profilo Creager. Il coefficiente di deflusso che, nelle formulazioni di bibliografia tecnica, consente di approssimare al meglio la portata calcolata analiticamente con quella graficata in FdC, risulta pari a  $C=0.4731$  (Figura 3).

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 43
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

### Scala portata scarico superficie



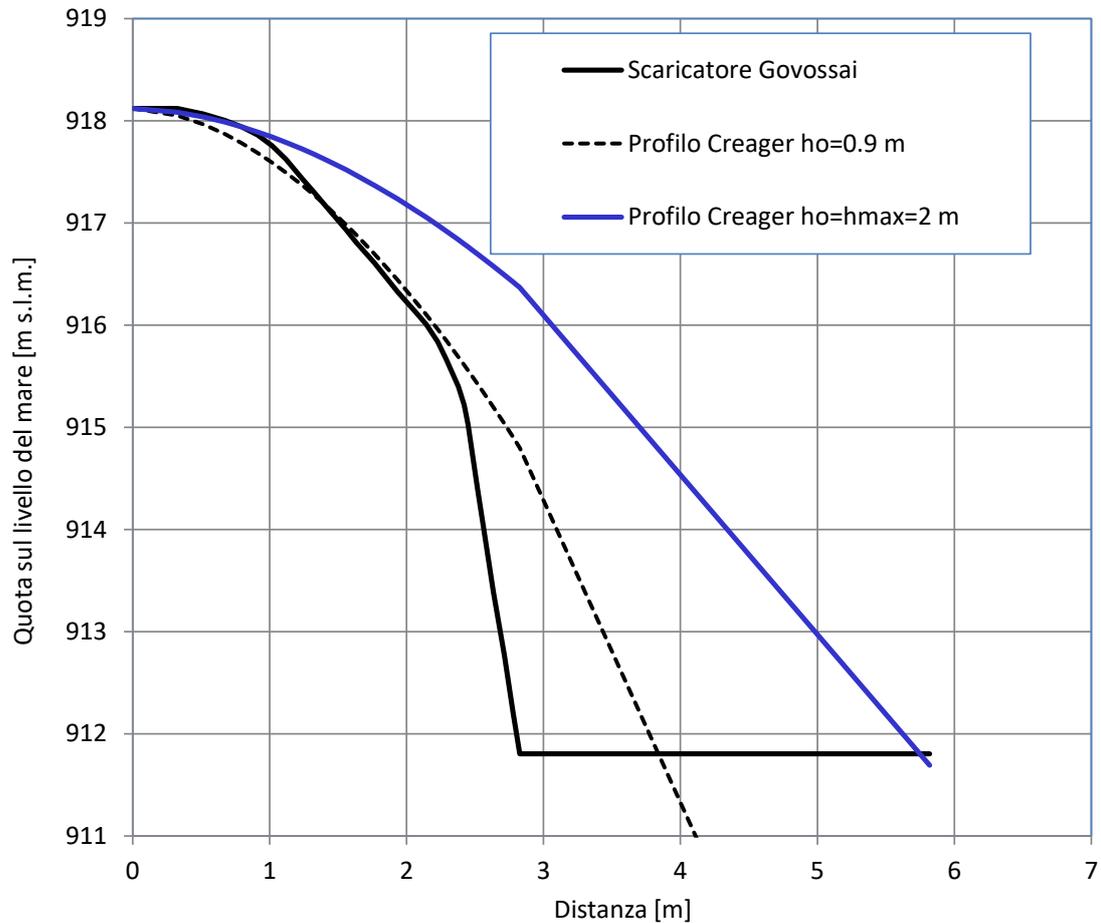
**Figura 20 – Scala delle portate dello scarico di superficie secondo il FCEM.**

Le valutazioni riportate nel FdC non appaiono però adeguate a rappresentare correttamente il comportamento dello scarico di superficie esistente, in particolar modo con riferimento alla scala delle portate, per i motivi dettagliati nel seguito.

Si segnala infatti, in primo luogo, che, in base al rilievo topografico eseguito, si sono riscontrate quote della sommità dello sfioratore esistente inferiori al valore di 918.12 m s.l.m. indicato nel FdC. Infatti, dal rilievo, si hanno quote sommitali variabili lungo lo sviluppo dello sfioratore tra un minimo di 917.89 e un massimo di 917.95 m s.l.m. Si tratta di valori più bassi di 17-23 cm rispetto a quello della quota della soglia di sfioro riportato nel FCEM (918.12 m s.l.m.). Nelle calcolazioni, a favore di sicurezza, si è assunto un valore di quota costante, pari al valore massimo osservato, ovvero 917.95 m s.l.m.

Inoltre, è stata esaminata la sagoma dello sfioratore di superficie e si è constatato che essa non corrisponde a quella di un profilo Creager relativo ad un carico di dimensionamento pari 2 m, come invece ci sarebbe aspettato (Figura 5).

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 44
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			



**Figura 21 – Profilo dello sfioratore di superficie esistente messo a confronto con i profili Creager aventi  $h_o=2$  m e  $h_o=0.9$  m.**

Pertanto, nelle calcolazioni è stata adottata la nuova formulazione per calcolare la scala di portate dello scarico di superficie, tenendo conto sia del fatto che la quota della soglia di sfioro dello scarico di superficie è differente da quella indicata nel FdC sia del fatto che il profilo dello scarico esistente non corrisponde ad un profilo Creager con  $h_o=2$  m, bensì è ben approssimato da un profilo Creager con  $h_o=0.9$  m. La scala delle portate scaricate pertanto attribuita allo scarico di superficie è rappresentata nella Figura 22.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 45

### Scala portata scarico superficie

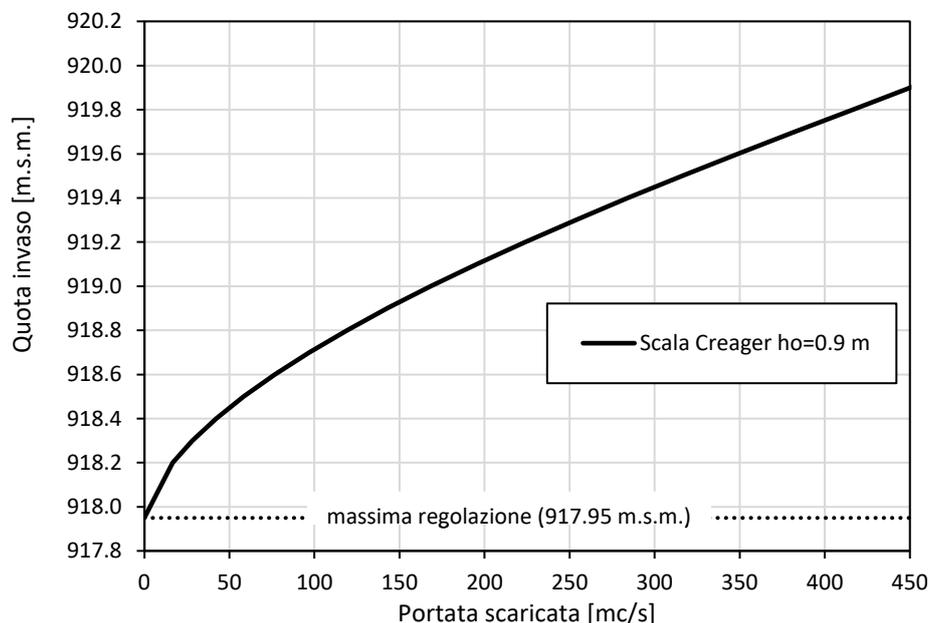


Figura 22 - Scala di portata dello scarico di superficie adottata nel presente studio.

#### 11.4. Stima del franco idraulico netto per la portata millenaria

La stima del franco idraulico è stata condotta con la portata di Periodo di Ritorno  $T_r=1000$  anni, senza considerare, a titolo cautelativo, l'effetto di laminazione generato dall'invaso al di sopra della quota massima di regolazione.

Considerando la capacità idraulica dello sfioratore con quota di sfioro pari a 917.95 m s.m.m., rilevata dalla campagna topografica e 17 cm inferiore alla quota di massima regolazione ufficiale (918.12 m s.m.m.), la portata di picco pari a 340.1 m<sup>3</sup>/s viene smaltita con quota idraulica pari a 919.575 m s.m.m., ovvero con 1.625 m di carico sullo sfioro.

Avendo calcolato  $0.203+0.025=0.228$  m come altezza dell'onda da vento e da run-up, la verifica del franco rispetto alla quota di coronamento ufficiale dichiarata da FdC (e pari a 921.12 m s.m.m.) risulta:

$$Fr=921.12-(919.575+0.228)=1.317 \text{ m.}$$

Considerando che la quota topografica esistente del coronamento risulta pari a 920.91 m s.m.m., ovvero 21 cm inferiori rispetto alla quota ufficiale dichiarata nel Foglio di Condizioni, è stata comprovata la verifica del Franco Netto anche nei confronti di tale quota:

$$Fr=920.91-(919.575+0.228)=1.107 \text{ m.}$$

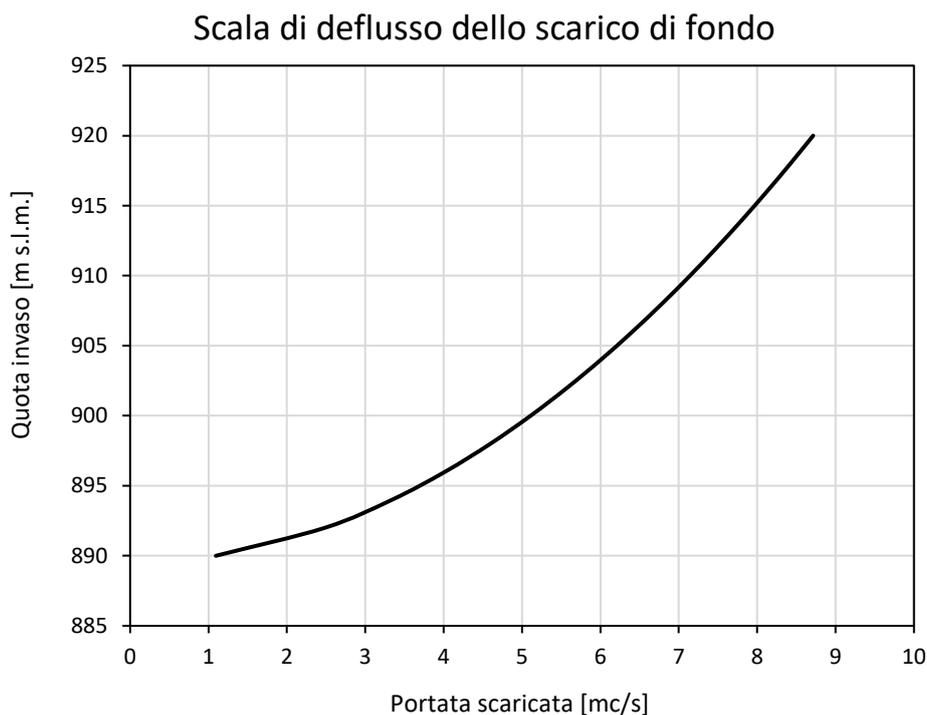
Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 46
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

Lo stato di progetto prevede comunque di uniformare il coronamento alla quota ufficiale dal Foglio di Condizioni, ovvero 921.12 m s.m.m..

### 11.5. Capacità dello scarico di fondo e stima del tempo di vuotamento

Come già ribadito, lo scarico di fondo è costituito da condotta DN=800 mm, di lunghezza all'incirca pari a 30 m. Secondo il FdC, la portata massima esitabile dallo scarico di fondo, con livello pari alla quota di massimo invaso (920.12 m s.m.m.) risulta pari a 7.485 m<sup>3</sup>/s.

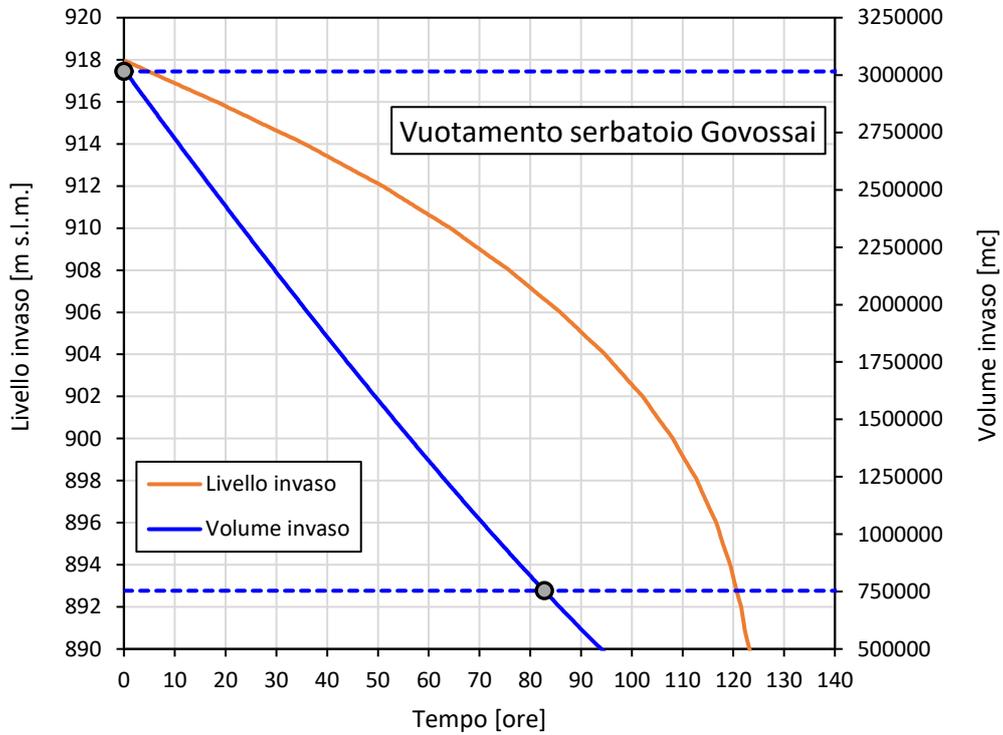
Con le equazioni di bilancio d'energia tra il livello nell'invaso e la quota di sbocco dello scarico, si deduce la scala di deflusso dello scarico di fondo, graficata alla seguente Figura 23.



**Figura 23 - Scala di deflusso dello scarico di fondo.**

Si è quindi simulato il vuotamento del serbatoio a partire dalla quota di massima regolazione, rivalutata da rilievo topografico, assunta pari a 917.95 m s.l.m.. Nella Figura 24 è rappresentato l'andamento nel tempo del livello dell'invaso e quello del volume residuo invasato nell'invaso stesso. Sono evidenziati i valori del volume di massima ritenuta e del volume residuo pari al 25% di quello di massima ritenuta.

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 47
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			



**Figura 24 - Tempo di vuotamento del serbatoio di Govossai.**

Dalla Figura 24 si desume che il tempo necessario per lo svuotamento del 75% del volume è pari a 82.75 h, risultando quindi maggiore di 3 giorni.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 48

## 12. INTERVENTI PREVISTI SUL CORPO DIGA

### 12.1. Schema degli interventi

La proposta progettuale degli interventi di adeguamento del corpo diga si articola nei seguenti principali punti:

- appesantimento del corpo diga con la realizzazione di un contromuro di calcestruzzo armato di spessore minimo di 1.5 m solidale con il paramento di monte;
- realizzazione di un nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio nella porzione centrale dello sbarramento realizzato all'interno del nuovo volume in calcestruzzo. Dal cunicolo sarà realizzata una nuova fila di drenaggi in fondazione;
- consolidamento del piede di monte tramite iniezioni in fondazione;
- realizzazione di uno schermo di tenuta in fondazione tramite iniezioni;
- consolidamento tramite iniezioni del corpo diga e del contatto diga-fondazione;
- ripristino e adeguamento del coronamento;
- demolizione e ripristino torre di presa;
- risanamento dei cunicoli esistenti
- integrazione del sistema di monitoraggio.

Gli interventi di adeguamento proposti sono stati progettati per avere molteplici scopi:

- migliorare la stabilità del corpo diga;
- migliorare il sistema di tenuta del paramento di monte e conseguentemente ridurre le perdite;
- consolidare il corpo diga e il contatto diga-fondazione.

I singoli interventi sono descritti in sintesi nei seguenti sub-paragrafi.

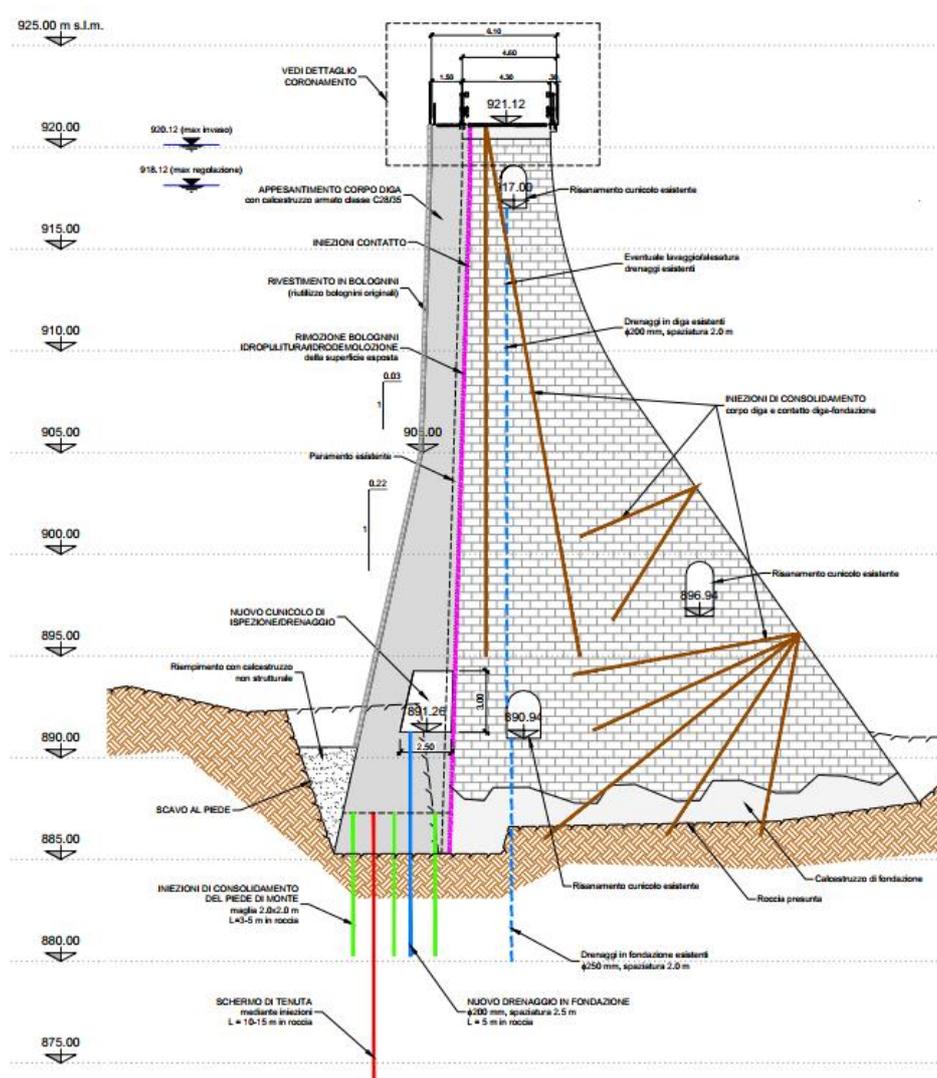


Figura 25 – Schema degli interventi progettuali di adeguamento del corpo dello sbarramento

## 12.2. Appesantimento del corpo diga

L'appesantimento del corpo diga consisterà nella realizzazione di un contromuro in calcestruzzo armato di classe C28/35 solidale con il paramento di monte.

La nuova struttura avrà spessore di 1.5 m dalla quota di coronamento fino a 905.00 m s.l.m. e si allargherà nella parte bassa della diga con pendenza 0.22(o):1.00(v) (spessore massimo alla base dell'ordine di 5-6 m).

Prima dell'esecuzione del muro saranno rimossi i bolognini che attualmente rivestono il paramento di monte e sarà effettuata un'operazione di idro-pulitura/idro-demolizione controllata selettiva della sottostante malta al fine di rimuovere le eventuali zone deteriorate e le parti incoerenti.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 50

Il nuovo manufatto sarà collegato alla muratura esistente tramite barre di ancoraggio in acciaio. Inoltre, al contatto tra contromuro e opera esistente sarà installato prima del getto di calcestruzzo un sistema di tubicini in PVC per iniezioni di contatto con malta sigillante o resina.

Il paramento di monte del contromuro sarà rivestito riutilizzando anche i bolognini originali. La nuova struttura in calcestruzzo avrà n. 6 giunti realizzati in corrispondenza di quelli già esistenti. L'impermeabilizzazione dei giunti prevede l'installazione di n. 2 waterstop.

Inoltre, si prevede di installare un waterstop longitudinale orizzontale al contatto contromuro-diga esistente in prossimità del contatto con la fondazione.

### **12.3. Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio**

All'interno del nuovo volume di calcestruzzo si prevede di realizzare un nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio. Il cunicolo, di dimensioni interne 2.5(B) x 3.0(H), si svilupperà nella porzione centrale della diga per una lunghezza di circa 40 m e a una quota circa pari a quella del cunicolo perimetrale esistente.

Il nuovo cunicolo sarà collegato a quello esistente tramite un breve tratto trasversale, ubicato nel concio centrale, realizzato demolendo la struttura esistente. Tale cunicolo consentirà lo scarico delle acque di filtrazione nella diga e quelle intercettate dai drenaggi in fondazione.

Dal cunicolo sarà realizzato un nuovo schermo di drenaggio in fondazione con fori di diametro 200 mm spazati 2.5 m. La profondità prevista dei drenaggi in fondazione è di minimo 5 m in roccia.

### **12.4. Consolidamento piede di monte e schermo di tenuta**

L'ammasso roccioso che costituirà la fondazione della nuova struttura in calcestruzzo sarà consolidato mediante iniezioni. Come schema preliminare si prevede di realizzare una maglia a quinconce 2.0 x 2.0 m con una profondità variabile dai 3 ai 5 m (funzione dell'altezza della diga). La campagna di consolidamenti sarà effettuata a seguito della realizzazione di una porzione del contromuro di calcestruzzo di altezza approssimativa di 2-3 m in modo da avere un sufficiente contrasto durante l'esecuzione delle iniezioni.

Dalla stessa piattaforma sarà realizzato lo schermo di tenuta in fondazione. Vista la buona qualità dell'ammasso roccioso in fondazione, si prevede di realizzare una so-

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 51

la fila di iniezioni nella parte centrale della diga utilizzando come procedura operativa il metodo GIN. La profondità dello schermo sarà variabile da 10 a 15 m in funzione dell'altezza della diga.

### **12.5. Consolidamento corpo diga e contatto diga-fondazione**

Tra gli interventi si prevede di eseguire delle iniezioni con malta cementizia del corpo diga e del contatto diga-fondazione. Le iniezioni hanno lo scopo di:

- migliorare le caratteristiche meccaniche e l'impermeabilità della muratura esistente;
- migliorare il contatto tra ammasso roccioso e fondazione;
- intasare i vuoti e le cavità nella muratura.

Come schema preliminare si prevede di realizzare le iniezioni sia dal coronamento della diga, con perforazioni sub-verticali, sia dal paramento di valle su più livelli con iniezioni radiali. Le iniezioni eseguite dal livello più basso saranno estese fino a raggiungere il contatto diga-fondazione.

### **12.6. Ripristino e adeguamento del coronamento**

Il coronamento della diga sarà scarificato e sarà posato il nuovo pacchetto stradale fino al raggiungimento della quota di coronamento ufficiale dal FdC di 921.12 m s.l.m..

### **12.7. Risanamento dei cunicoli esistenti**

Si prevede di realizzare degli interventi di risanamento dei cunicoli esistenti che includeranno, dove necessario, le seguenti attività: pulizia e/o risanamento della malta di rivestimento del cunicolo, applicazione di una nuova malta di rivestimento, pulizia delle canalette, sigillatura delle fessure.

### **12.8. Integrazione del sistema di monitoraggio**

Si prevede di realizzare i seguenti interventi di integrazione del sistema di monitoraggio esistente:

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 52

- Perdite:
  - installazione di n. 2 stramazzi per la misura delle perdite raccolte dal nuovo cunicolo di drenaggio (n. 1 per le perdite provenienti da sinistra, n. 1 per le perdite da destra);
  - prevedere la misura periodica delle perdite dai singoli drenaggi in fondazione di nuova installazione.
  
- Pressioni:
  - installazione di n. 9 nuovi piezometri per la misura delle pressioni in fondazione a valle del nuovo sistema di drenaggio allineati approssimativamente ai piezometri già esistenti;
  - predisporre la possibilità di lettura con manometro portatile delle pressioni nei drenaggi in fondazione di nuova installazione;
  
- Spostamenti
  - integrare il sistema di mire fisse e mobili per garantire la misura degli spostamenti almeno in un punto di misura su ciascun concio della diga;
  - installazione di misuratori di spostamenti di giunto (manuali e automatici) in corrispondenza dei giunti di movimento all'interno dei cunicoli di drenaggio/ispezione (esistenti e di nuova realizzazione);
  - installazione di misuratori di spostamento di giunto (manuali e automatici) sul coronamento in corrispondenza del giunto diga esistente-contromuro;
  
- Temperatura
  - Installazione di termocoppie su n. 3 livelli all'interno del nuovo contromuro di calcestruzzo al fine di monitorare l'andamento delle temperature all'interno del calcestruzzo durante la costruzione e nei mesi successivi alla realizzazione.
  
- Varie
  - Installazione di n. 3 accelerometri (n. 1 nel nuovo cunicolo di drenaggio nel concio centrale, n. 1 nel cunicolo superiore esistente nel concio centrale, n. 1 in spalla sinistra in corrispondenza di un affioramento roccioso in prossimità della casa di guardia);
  - Installazione di un sistema di monitoraggio del livello dell'invaso che comprende: asta graduata sul nuovo paramento di monte, n. 1 misuratore di pressione, n. 1 misuratore radar in cresta diga;

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 53

- Installazione di un sensore di misura della temperatura dell'acqua dell'invaso (o riposizionamento del sensore attualmente in uso).

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 54

## 13. INTERVENTI PREVISTI SULLE OPERE ACCESSORIE

### 13.1. Sfiatore

A lato dello sbarramento e a fianco della Strada Provinciale n. 2ter è collocato il canale fagatore che presenta un fondo in pendenza longitudinale del 5% verso valle, con un profilo di sfioro tipo Creager lungo 72m a quota costante teorica di +918.12 m s.m.m. (il rilievo dimostra una quota nell'intorno di 917.95 m s.m.m.).

L'indagine visiva ha evidenziato la presenza di patina biologica sulla parete di sfioro e la presenza di vegetazione incolta lungo tutto il canale fagatore.

Sulla parete di monte si è notata la presenza diffusa di lesioni superficiali con andamento sia orizzontale che verticale e si è osservata la mancanza di intonaco in molteplici punti ed il conseguente degrado superficiale delle strutture.

L'esecuzione del sondaggio SF04 ha inoltre evidenziato cavità dietro il muro di monte, dovute sicuramente all'asporto di materiale fine (sabbione granitico) ad opera dell'acqua di percolazione da monte dietro la parete. Come evidenziato dalle indagini pacometriche, la struttura della soletta e del muro di sfioro è in calcestruzzo non armato, rivestito quest'ultimo con bognini in pietra. Prove SONREB e prove distruttive su carote di calcestruzzo hanno evidenziato una resistenza media a rottura molto bassa, assimilabile ad una classe C10/12.

Verifiche strutturali, riportate nella RELAZIONE TECNICA DEGLI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DELLO SFIORE E DEL PONTE CARRABILE, hanno infine rilevato criticità

- della soletta di fondo soggetta alle massime sottopressioni idrauliche nella condizione di inizio sfioro, particolarmente gravosa in corrispondenza del ponte della SP 2ter, dove la quota della soletta di fondo è minima e il dislivello rispetto alla quota di sfioro è massima.
- del manufatto costituente il petto stramazzone, che nella geometria attuale non soddisfa le verifiche di stabilità imposte da normativa.

L'intervento di ripristino del canale fagatore si sviluppa quindi in più fasi, che vengono di seguito descritte a partire dall'opera di presa a monte.

L'opera di presa presenta un degrado superficiale dovuto soprattutto alla qualità del calcestruzzo e alla profondità di penetrazione della carbonatazione. Il manufatto viene dapprima idrosabbiato con pressione fino a max 1500 atm per asportare le parti di calcestruzzo di incipiente distacco e per garantire una asperità superficiale

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 55

di circa 2mm per un miglior aggrappo della malta di ripristino. Eventuali armature sporgenti vengono passivate con applicazione di un protettivo anticorrosivo.

Viene quindi ripristinata la superficie con una malta cementizia premiscelata, tixotropica bicomponente, contenente fibre sintetiche e additivata con polimeri. La superficie viene protetta con uno strato di 2mm di polimero in cemento e impermeabilizzata fino a quota sfioro con acrilico additivato con fibre sintetiche. In corrispondenza della testa di monte dello sfioratore, vengono inseriti gargami in acciaio zincato dotati di guarnizioni, tassellati alle guide esistenti. L'opera viene completata con l'inserimento di paratoia in carpenteria metallica e il montaggio di parapetti sulla copertura piana.

Dall'opera di presa e per tutta la lunghezza del canale fugatore viene demolita la soletta esistente e scavato il terreno di fondo per uno spessore di ulteriori 50cm. A passo costante di 2.0m vengono scavate delle nicchie lungo le pareti laterali, a formare chiavi di taglio in calcestruzzo per contrastare la sottospinta idraulica. Posato sul fondo un pannello di geotessuto viene steso uno strato di 30cm di ghiaia con funzione di dreno e posato lungo l'asse un tubo microforato di raccolta dell'acqua drenata. Sopra uno strato di magrone da 10cm viene allestita la gabbia di armatura e gettato il calcestruzzo per uno spessore di 50cm per la formazione della soletta e delle chiavi di taglio nelle nicchie laterali. A favore di prudenza, la platea viene interessata dalla posa di dreni DN 100 mm disposti a quinconce 2x2 m, per mitigare l'effetto delle sottopressioni neutre.

Il muro sfioratore al di sotto della quota dei bolognini subisce lo stesso trattamento dell'opera di presa: rimosse con idredomolizione le parti in distacco e creata un'adeguata superficie di aggrappo, viene ripristinata la superficie con una malta cementizia premiscelata, tixotropica bicomponente, contenente fibre sintetiche e additivata con polimeri, protetta poi con uno strato di 2mm di polimero cemento.

Il muro a monte viene a sua volta idrodemolito in superficie per eliminare le parti di intonaco non più aderenti alla struttura sottostante. Vengono quindi realizzate alcune perforazioni per iniezioni di malta cementizia nelle zone dove sono stati riscontrati i vuoti dietro la parete. Si preventivano circa 20 iniezioni entro fori profondi 3m disposti su maglia di 2 x 2 m, per un volume di malta cementizia di 1 mc a iniezione.

Viene quindi gettata una controparete in calcestruzzo da 10cm di spessore armato con rete elettrosaldata.

Soletta di fondo del canale e parete di monte fino alla quota di sfioro vengono impermeabilizzate con impregnante polimerico bicomponente, mentre il muro sfiora-

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 56

tore viene impermeabilizzato solo nella zona di intervento, in modo da lasciare a vista la superficie di rivestimento in pietrame squadrato.

Per garantire la stabilità del muro costituente il petto stramazzone, si realizza un muro in c.a. a tergo, ovvero sul lato dell'invaso, costituito da una geometria trasversale ad L con basamento alla quota di fondazione del manufatto esistente. Le dimensioni del muro variano lungo lo sviluppo del petto sfiorante. L'opera è ancorata al manufatto esistente mediante spezzoni di armatura, così da poter assumere il comportamento solidale dei due elementi. Sullo sviluppo lineare di 45 m, il muro in c.a. di nuova realizzazione è solidarizzato al piede a micropali DN 300 mm armati con tubolari, di altezza pari a 6-8 m, e previsti in misura pari a 3 pz/m. Sono previsti per scongiurare il pericolo di cedimenti del manufatto sfioratore durante l'attività di scavo a tergo, precedente all'esecuzione del nuovo muro.

A conclusione, lungo tutto il muro sfioratore, lato bacino, viene realizzata una scogliera di protezione per un'ampiezza di 10m con massi da 200÷500kg di recupero dallo scavo di fondo della diga. I massi posano su un letto di ghiaia costipata dello spessore di 30cm, stesa su un tessuto non tessuto per la formazione del piano di posa sul banco di granito arenizzato.

### **13.2. Ponte carrabile**

La Strada Provinciale 2ter affianca il canale fuggatore del bacino artificiale di Govossai sul lato opposto al profilo di sfioro e, dopo una stretta curva a 90° in prossimità della casa di guardia, sovrappassa il canale in corrispondenza della diga con un ponte di luce modesta.

La struttura del ponte, in calcestruzzo armato, presenta sezione scatolare chiusa tripartita, ma solo la cella centrale è passante oltre le spalle e collega il cunicolo superiore della diga con la casa di guardia; una seconda cella, lato valle, è raggiungibile solo dalla spalla lato casa di guardia, dove la presenza di una fessura trasversale denota la mancanza di un giunto su questo lato. La luce netta del ponte è di circa 9.0m e sembra non essere in continuità strutturale con la diga e con il paramento di monte; si può quindi considerare uno schema in semplice appoggio. La larghezza all'estradosso di circa 4.50m. La carreggiata carrabile è di circa 3.50m.

L'indagine visiva ha evidenziato il distacco di parte del copriferro all'intradosso dell'impalcato con esposizione delle armature, parzialmente corrose dalla ruggine; stessa condizione si riscontra per l'armatura dei cordoli superiori ai lati della carreggiata. Il parapetto non è a norma per una strada provinciale e andrà sostituito con una adeguata barriera guard-rail, tipo H2 Bordo Ponte.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 57

Dalle indagini pacometriche condotte risulta che le pareti sono debolmente armate a taglio, mentre è stata riscontrata una discreta armatura inferiore. Tutta l'armatura è liscia e il copriferro è spesso molto modesto, variabile tra 1cm e 3cm. Le prove di trazione eseguite su spezzoni di armatura hanno permesso di classificarla come acciaio classe FeB22k. Sono stati eseguiti quattro prelievi di carote di calcestruzzo dalle pareti laterali del ponte, due sul fianco Ovest e due sul fianco Est. Dalle prove di laboratorio eseguite è risultata una profondità di carbonatazione variabile da 46mm a 83mm, con un valore medio di 71mm, quindi ben oltre la posizione delle armature, dato il ridotto copriferro. Le prove di rottura a compressione delle carote prelevate, confrontate con i valori ricavati dalle prove SONREB in loco, hanno determinato un valore medio di rottura pari a 15.0 MPa, quindi appena sufficiente per l'ammissibilità della struttura. Il riscontro di valori puntuali di rottura inferiori ne hanno suggerito la demolizione e ricostruzione.

L'analisi delle risultanze sul ponte esistente e lo stato di consistenza rilevato dall'esame ispettivo e difettologico ha condotto il Progettista a prevederne la demolizione ed il ripristino con nuovo corpo d'opera.

La nuova struttura ricalca la stessa tipologia dell'esistente: è quindi costituita da una sezione tricellulare che conserva nella cella centrale la stessa sezione del passaggio che collega il cunicolo superiore della diga alla casa di guardia, mentre due aperture laterali su entrambe le pareti mette in collegamento la cella centrale a quelle laterali. Approfittando dell'ampliamento di spessore della diga per il getto del contromuron da 1.5m anche la cella a monte e la sovrastante carreggiata stradale sono state allargate della stessa entità. La nuova corsia su coronamento, larga 3.50 m, viene protetta da barriere guard rail tipo H2 bordo Ponte montate sui nuovi cordoli, mentre lato bacino è previsto un marciapiede protetto da parapetto. Su entrambi i lati vengono applicate reti di protezione anticaduta alte 2m.

Il calcestruzzo del nuovo manufatto è in classe di resistenza C35/45 e classe di esposizione XC4-XD3-XA3-XF1 in grado quindi di difendersi sia da agenti chimici aggressivi, sia da agenti salini.

La struttura è in semplice appoggio sui muri di spalla esistenti, dove, sopra un livello di malta di allettamento vengono collocate fasce di neoprene con durezza Shore A3 60, omologate come sistema di appoggio di ponti di piccola luce. Lungo i due perimetri che separano la struttura dalle spalle viene applicato un giunto di dilatazione per scorrimenti di  $\pm 15$ mm, dotato nelle parti orizzontali di scossalina per la raccolta delle acque di piattaforma.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 58

### 13.3. Scarico di fondo

Al fondo della diga è collocata la condotta di scarico in acciaio da 800mm. L'asse della condotta è a quota +890.02m all'imbocco e a quota +889.82m all'uscita. La condotta ha quindi una pendenza di 20cm su 24.0m, pari allo 0.83%.

Lo scarico di fondo è ubicato nel concio centrale del corpo diga ed è realizzato con una condotta dotata di griglia di protezione a monte e intercettata prima dello sbocco da valvole a farfalla che consentono la derivazione dell'acqua per l'acquedotto.

L'indagine visiva delle parti non annegate nel calcestruzzo ha evidenziato la presenza di ruggine anche su flange e valvole, e l'esfoliazione dello strato più esterno di vernice. Sono state condotte indagini durometriche sulla condotta nel cunicolo di derivazione, nella camera di manovra, in corrispondenza dello scarico di acque morte e lungo lo scarico di fondo. Con riferimento a queste ultime si è ricavato il valore medio di durezza Brinell, pari a 557.0 MPa, che corrisponde ad una resistenza a trazione media dell'acciaio di circa 1941 MPa.

Il valore minimo di 525.3 MPa corrisponde ad una resistenza di 1819 MPa.

Nelle stesse sezioni indagate sono state eseguite misure degli spessori della condotta; con riferimento ai soli valori relativi allo scarico di fondo è stato rilevato un valore medio di circa 6.1mm, con spessori minimi di 5.5mm.

Dalle verifiche idrauliche risulta che la condotta è risanabile previa eliminazione delle cause di corrosione.

Il ripristino viene proposto sia all'interno che sulle superfici esterne raggiungibili della condotta, secondo i seguenti cicli:

- Superfici interne: dopo una sabbiatura superficiale necessaria per l'eliminazione di incrostazioni e parti ossidate viene steso un fondo rasante anticorrosivo, quindi viene applicato un primer di protezione in due mani successive e infine applicata una resina bicomponente di durezza 80÷85 Shore A, tipo MetaLine 680 o equivalente, di spessore 2.5 mm medio nominale. L'applicazione viene eseguita a mano in quanto la dimensione del tubo è grande e non permette un corretto impiego della sonda robotizzata, normalmente utilizzati in questi casi.
- Una volta eseguito il rivestimento occorre attendere almeno cinque giorni per la completa asciugatura e stabilizzazione del comportamento chimico della resina prima del riempimento della condotta. Per una maggior resa nel tempo e per scongiurare infiltrazioni nei punti maggiormente stressati come la flangia a monte di ciascuna sezione di condotta, i rivestimenti vengono

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 59

estesi scavallando sulle flange di ciascuna sezione, in modo da mantenere all'esterno gli spessori del rivestimento che sono la parte più vulnerabile.

- Superfici esterne nelle zone raggiungibili: eseguita la sabbiatura superficiale viene applicato un fondo rasante anticorrosivo e completato l'intervento con primer epossidico bicomponente.

Al fine di consentire anche in futuro la manutenzione della condotta, in prossimità dell'imbocco viene applicata una valvola a ghigliottina manovrata, a condotta chiusa, mediante volantino dal cunicolo che verrà realizzato nel nuovo contromuro della diga.

La sezione di imbocco, collocata ora nel nuovo contromuro, ripropone lo stesso allargamento del progetto originario per abbattere le perdite di carico di imbocco.

Inoltre, vista le vetustà e l'inattività di parte delle valvole collocate lungo lo sfioratore, si prevede la rimozione delle valvole esistenti, e la sostituzione, a fine condotta, con una valvola Howell-Bunger.

#### **13.4. Torretta verticale di presa**

La realizzazione del nuovo contromuro prevede la demolizione della torretta di presa esistente, che sporge di circa 1.90 m rispetto al profilo del paramento di monte esistente. La torretta di presa verrà ricostruita come parte integrante del nuovo contromuro: per opportunità e per la vetusta delle apparecchiature esistenti, è inoltre prevista la rimozione dell'attuale condotta verticale di presa (DN400) e delle relative saracinesche (n°3) in corrispondenza delle prese, e la sostituzione con elementi di nuova fornitura. Anche la scala verticale a chiocciola di percorrenza della torretta di presa viene rimossa e sostituita con nuovi elementi.

#### **13.5. Coronamento del corpo diga**

Sul coronamento del corpo diga prosegue la sezione stradale descritta per il ponte sul canale fugatore: sulla larghezza di 6.10m trovano posto una corsia di transito da 3.50, le barriere guard rail tipo H2 Bordo Ponte e il marciapiede in sede propria protetto da parapetto e da rete anticaduta disposta anche sul lato a valle.

Le barriere guard rail vengono montate su nuovi cordoli in calcestruzzo armato con sezione 50x30 cm. Al fine di contrastare eventuali urti contro le barriere, in corrispondenza dei montanti, i cordoli vengono collegati tra loro mediante travette

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 60

50x20 cm, connesse quindi al getto del nuovo contromuro di ispessimento della diga.

Lungo tutto il percorso tra i due estremi della diga, compreso il ponte, viene collocato un impianto di illuminazione con pali ogni 11.75m dotati di plafoniera a LED. A lato del coronamento, verso monte, viene sistemata una canalina per i cavi di servizio esistenti.

### **13.6. Casa di guardia**

Gli interventi rivolti alla casa di guardia concernono la messa in sicurezza dell'abitato e alcune operazioni di manutenzione straordinaria.

In linea con la sostenibilità economica dell'intervento, sono stati individuati interventi indifferibili per l'utilizzo dell'abitato ed interventi differibili relativi alla messa in sicurezza dell'intero edificio agli standard normativi. Nel presente PFTE sono stati assunti gli interventi ricadenti nella prima tipologia, ovvero:

- Interventi di rifacimento della copertura
- Realizzazione di impianti per la distribuzione dell'acqua ed il trattamento dei reflui
- Interventi di ristrutturazione edilizia degli interni e di sostituzione degli infissi
- Interventi di rifacimento dell'impianto elettrico.

Gli interventi differibili, non inclusi nella presente sede progettuale, riguardano l'adeguamento sismico della struttura e il contenimento dei consumi energetici dell'edificio.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 61

## 14. CANTIERIZZAZIONE

La cantierizzazione propedeutica alla realizzazione dell'opera è stata valutata con riferimento a n°2 configurazioni alternative, nel seguito descritte, che corrispondono rispettivamente

- Alla realizzazione degli interventi prioritari per la messa in sicurezza del corpo di sbarramento. Tale assetto progettuale viene richiamato come STRALCIO 1, e riguarda la sola realizzazione del contromuro e delle relative iniezioni di tenuta, di consolidamento e di contatto. Non vengono inclusi gli interventi di adeguamento e miglioramento sulle opere accessorie
- Alla realizzazione di tutti gli interventi di messa in sicurezza dell'impianto di ritenuta, estesi anche alle opere accessorie, ovvero lo sfioratore, il coronamento della diga, lo scarico di fondo, la casa di guardia, la torre di presa e l'impianto di monitoraggio. Tale assetto viene nel testo richiamato come OPERA COMPLETA.

Lo STRALCIO 1 si limita agli interventi di massima necessità, focalizzati sugli aspetti di stabilità strutturale e di tenuta idraulica del corpo diga; diversamente gli interventi dell'OPERA COMPLETA, che includono lo STRALCIO 1 e una ulteriore integrazione, sono stati previsti in aderenza alle disposizioni delle "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse) – DM 26 giugno 2014", che prevedono di assumere tutte le opere accessorie come parte integrante dell'impianto di ritenuta. Inoltre, nell'ambito dell'OPERA COMPLETA, sono state introdotte iniziative di tutela paesaggistica ed ambientale al fine di abbattere gli impatti generati in sede esecutiva e nel futuro assetto di progetto. In tal senso sono inclusi:

- La rimozione dei blocchi granitici squadrati di rivestimento del paramento di monte, il loro deposito temporaneo ed il riutilizzo per il rivestimento del nuovo contromuro di monte
- La realizzazione di un argine provvisoria di ritenuta posto a monte della diga, di altezza massima pari a circa 9 m, funzionale a svolgere una ritenuta idraulica minima durante lo svolgimento delle opere, così da scongiurare il vuotamento completo dell'invaso nella fase provvisoria.

Nel seguito (14.1.1 e 14.1.2), quindi, vengono descritte le opere di CANTIERIZZAZIONE mantenendo tale distinzione, ovvero:

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 62

- OPERE PRIMARIE DI CANTIERIZZAZIONE da assumersi riferite allo STRALCIO 1
- OPERE INTEGRATIVE DI CANTIERIZZAZIONE, da assumersi riferite all'OPERE COMPLETA.

#### 14.1.1. Opere primarie di cantierizzazione – Alternativa 1

Le OPERE PRIMARIE consistono nella disposizione dell'area logistica di cantiere e nell'esecuzione della viabilità provvisoria per l'accesso alle aree di lavoro; l'area di lavoro è, come accennato, rappresentata dal paramento di monte della diga.

L'area logistica di cantiere è prevista poco più a monte del corpo diga, in sponda sinistra, ed occupa una superficie di circa 2.200 m<sup>2</sup>. Per la costituzione dell'area saranno adottate le misure volte ad assicurare la tutela vegetazionale ed il successivo ripristino dello stato dei luoghi.

In tale configurazione di cantiere, è previsto di provvedere al totale vuotamento dell'invaso, a mezzo dello scarico di fondo, e di mantenere tale assetto durante il periodo utile previsto per la realizzazione del contromuro.

Durante accadimenti meteorici di elevata intensità, l'invaso sarà soggetto a parziale riempimento, in misura corrispondente alla capacità di rilascio dello scarico di fondo rispetto all'afflusso meteorico. In tale circostanza, l'attività di cantiere dovrà essere temporaneamente interrotta, al fine di garantire l'idonea sicurezza nelle operazioni di lavoro.

#### 14.1.2. Opere integrative di cantierizzazione – Alternativa 2

Le OPERE INTEGRATIVE DI CANTIERIZZAZIONE introducono, in aggiunta all'assetto precedente (OPERE PRIMARIE), n°2 tipologie di disposizioni:

- Disposizioni di intervento sulle opere, secondo le quali si prevede di intervenire
  - sul rivestimento del paramento di monte del nuovo contromuro a mezzo dei blocchi squadrati granitici
  - sul corpo diga esistente, mediante iniezioni di risanamento
  - sullo scarico di fondo, mediante risanamento della relativa condotta, rimozione delle valvole esistenti e inserimento di una valvola di regolazione all'uscita (valvola di tipo Howell Bunger)

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 63
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

- demolizione della torre di presa e ricostituzione con nuova tubazione verticale
- consolidamento e impermeabilizzazione dello scarico di superficie
- nuovo muro di sostegno a tergo del manufatto di sfioro dello scarico di superficie
- manutenzione straordinaria sulla casa di guardia
- ricostituzione del coronamento stradale
- Disposizioni provvisorie, che prevedono l'accessibilità a tutti gli spazi di lavoro e la realizzazione di una tura provvisoria in materiale prevalentemente arido posta a monte della diga.

La tura provvisoria succitata verrà realizzata provvedendo dapprima alla riduzione del livello nell'invaso, ovvero al parziale (non totale) vuotamento dell'invaso, e all'apporto di materiale, proveniente da cava, direttamente dalla sponda a mezzo di escavatore. L'apporto di materiale consentirà il raggiungimento di quota superiore al livello idraulico corrente e l'avanzamento progressivo dell'argine a partire dalla sponda in sinistra idraulica verso destra. La tura sarà completata con una rampa di accesso al fondo del bacino intercluso tra la diga e la tura medesima.

In Figura 26 è riportata la planimetria dell'assetto provvisorio di cantiere concepito per l'OPERA COMPLETA.



Figura 26 – Planimetria con indicazione delle opere provvisorie di cantiere (OPERA COMPLETA)

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 64

A conclusione dell'intervento di realizzazione della tura, si provvederà al vuotamento dell'area interclusa tra il corpo diga e la tura medesima, mantenendo inalterato il livello di invaso a monte. Si provvederà successivamente:

- All'installazione di una tubazione con imbocco posto a monte della tura e allacciamento alla tubazione dello scarico di fondo esistente. Tale sistema costituisce lo SCARICO PROVVISORIO
- Alla rimozione dell'eventuale volume di deposito nell'area interclusa e al suo conferimento ad impianto di recupero e /o smaltimento
- Al ribassamento e consolidamento di un tratto di tura mediante scogliera in massi con intasamento in calcestruzzo, di modo da rendere la tura parzialmente tracimabile durante eventi meteorici intensi.

La regolazione idraulica dell'invaso in tali condizioni provvisorie attribuisce allo SCARICO PROVVISORIO l'onere di evacuazione dell'afflusso. La tubazione, sfruttando il tirante di ritenuta generato dalla tura, assicura maggior portata di efflusso rispetto alla configurazione prevista nelle OPERE PRIMARIE DI CANTIERIZZAZIONE, nella quale, ad invaso vuoto, lo scarico di fondo funziona in condizioni di pelo libero.

In caso di accadimento meteorico intenso, qualora l'afflusso superi la capacità dello SCARICO PROVVISORIO, si verifica il sormonto del tratto arginale consolidato, il successivo riempimento dell'invaso intercluso tra la tura e la diga, e l'incremento del livello complessivo di invaso.

Il sistema dello SCARICO PROVVISORIO sarà equipaggiato di pozzetto che permetta il vuotamento/riempimento dell'area interclusa a mezzo di panconi manovrabili dalla sommità della tura.

#### 14.1.3. Confronto tra gli assetti alternativi di Cantiere

Gli assetti alternativi di cantiere, presentati in precedenza, introducono differenze sia in termini operativi che di impatto ambientale e paesaggistico.

Dal punto di vista OPERATIVO, la realizzazione della tura (ALTERNATIVA 2) consente un maggior controllo del livello di invaso, grazie alla maggiore capacità idraulica dello SCARICO PROVVISORIO, in grado di fronteggiare l'afflusso ordinario senza allagamento dell'area di lavoro a monte della diga. L'ALTERNATIVA 1 invece prevede l'allagamento saltuario dell'area di lavoro a monte diga, a causa del funzionamento a pelo libero dello scarico. Inoltre,

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 65

l'ALTERNATIVA 2 consente di disporre della risorsa d'acqua ai fini del cantiere in caso di eventuale necessità.

Dal punto di vista AMBIENTALE, l'ALTERNATIVA 2 assicura il mantenimento, seppur modesto, del livello di ritenuta idraulica, senza necessità di ricorrere al totale vuotamento dell'invaso. Tale aspetto introduce una vastità di effetti migliorativi rispetto all'ALTERNATIVA 1, tra cui, in particolare, la salvaguardia dell'ecosistema connesso alla presenza dello specchio idraulico dell'invaso. I benefici derivanti sono da estendere anche al tratto fluviale a valle della diga: infatti, mentre nell'ALTERNATIVA 1 l'efflusso rilasciato dallo SCARICO DI FONDO è funzione dell'afflusso al bacino, nell'ALTERNATIVA 2 può disporsi di una risorsa idrica funzionale a garantire maggior durata al rilascio di un deflusso minimo corrispondente al Deflusso Ecologico.

Dal punto di vista PAESAGGISTICO, l'ALTERNATIVA 2 conserva lo specchio idrico durante i lavori, e prevede il recupero del rivestimento in blocchi squadri granitici del paramento di monte del nuovo contromuro. Viene così rievocato l'effetto visivo del paramento originario della diga, limitando l'impatto del nuovo contromuro.

L'assetto progettuale assunto nel presente PFTE corrisponde all'ALTERNATIVA 2, ovvero all'assetto che include la realizzazione della tura provvisoria. Tale alternativa è infatti ritenuta migliorativa, ma anche indispensabile per la limitazione degli impatti che l'intervento genera nel contesto ambientale dell'intervento.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 66

## 15. VALUTAZIONI AMBIENTALI

Il presente progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica è corredato dallo Studio di prefattibilità Ambientale. Lo studio è stato redatto con l'obiettivo valutare attentamente i vari impatti prodotti dalla esecuzione dell'intervento e di attestare che le opere in progetto non producono significativi effetti negativi sull'ambiente.

Si segnala che lo Stato di Progetto dell'opera non altera in alcun modo l'impatto che già oggi l'esercizio dell'opera genera sul contesto ambientale in cui si inserisce: pertanto, nello Studio di prefattibilità è commisurato l'impatto generato dalle attività di cantiere, visto che l'intervento di miglioramento/adequamento dell'opera non genera alcuna modifica sulla gestione dell'invaso.

Nello studio di prefattibilità allegato vengono esaminati:

- il quadro programmatico, in cui si analizzano gli strumenti urbanistici ed i vari piani territoriali e paesaggistici interessanti l'area dell'intervento
- il quadro progettuale, in cui sinteticamente vengono riportati gli aspetti salienti del progetto e del cantiere
- le componenti ambientali interessate dal progetto ed i relativi impatti potenziali.

In particolare, lo studio ha approfondito, esaminando le varie fasi lavorative, gli impatti prevedibili conseguenti al cantiere ed alle lavorazioni in progetto.

Sono stati esaminati in particolare anche gli impatti sulle varie componenti ambientali e fra queste anche quelle sulla fauna ittiche.

La sintesi della valutazione delle componenti ambientali e dei possibili impatti è stata riepilogata nella tabella seguente (Tabella 2) da cui si può evincere che pur trattandosi di intervento in un'area semi-naturale dalle caratteristiche qualitative medio-alte, gli impatti conseguenti all'intervento possono classificarsi medio – bassi per la fase di cantiere e nulli per la fase di esercizio.

**Tabella 2 - Sintesi livelli di qualità componenti ambientali e pressioni indotte dal progetto**

COMPONENTE AMBIENTALE	LIV. QUAL	STATO ATTUALE	LIV. PRESS	CANTIERE	LIV. PRESS	ESERCIZIO
Atmosfera	4	Medio-alta	2	Medio basso	0	Trascurabile
Suolo e sottosuolo	3	Medio	2	Medio basso	0	Trascurabile

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 67
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

Ambiente idrico	4	Medio alta	2	Medio basso	0	Trascurabile
Flora, fauna	3	Medio	2	Medio basso	0	Trascurabile
Rumore	4	Medio alta	2	Medio basso	0	Trascurabile
Paesaggio e beni culturali	3	Medio	2	Medio basso	0	Trascurabile

Al fine di verificare ed attestare l'ininfluenza delle attività lavorative dell'intervento il progetto prevede un articolato piano di monitoraggio ambientale.

Il PMA consentirà di verificare durante le varie fasi lavorative il mantenimento dell'alta qualità delle componenti ambientali.

In conclusione avendo evidenziato, attraverso lo studio di prefattibilità ambientale, che l'intervento non produce significativi impatti negativi nell'ambiente, sotto il profilo delle *procedure ambientali* si ritiene che l'intervento possa essere autorizzato attraverso la procedura di Valutazione Preliminare Ambientale prevista dall'art. 6 comma 9 del D.Lgs 152/06.

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 68
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

## 16. CRONOPROGRAMMA

Si riporta in Figura 27 l'immagine grafica del Cronoprogramma dei lavori, in versione sintetica. Il Cronoprogramma completo è consultabile all'elaborato POTDFIDH141002\_TLSBFAT061R1.

La durata complessiva dei lavori è stimata in 730 gg nn cc, riconducibili a due anni. Nell'immagine a seguire sono anche espresse le durate, sempre in gg nn cc, relative alle MACROFASI principali.

CRONOPROGRAMMA					ANNO																								
FASE	LAVORAZIONE	gg effettivi	gg nn cc	inizio fine [gg nn cc]	MESE	ANNO 1												ANNO 2											
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	<b>DURATA DEL CANTIERE</b>			1 730																									
	<b>MACROFASE_01 - ACCANTIERAMENTO</b>			1 92																									
	<b>MACROFASE_02 - MESSA IN SICUREZZA MURO A MONTE DELLA DIGA</b>			92 677																									
	<b>MACROFASE_03 - VIADOTTO IN SINISTRA IDRAULICA ED OPERE SOMMITA' DIGA</b>			92 644																									
	<b>MACROFASE_04 - INTERVENTI SU SFIORATORE</b>			426 657																									
	<b>MACROFASE_05 - SCARICO DI FONDO</b>			657 706																									
	<b>MACROFASE_06 - INTERVENTI DI MANUTENZIONE CASA DI GUARDIA</b>			426 672																									
	<b>MACROFASE_07 - SMONTAGGIO CANTIERE E RESTITUZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI E</b>			657 730																									

Figura 27 – Cronoprogramma dei lavori sintetico

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 69

## 17. SUDDIVISIONE IN STRALCI E QUADRO ECONOMICO

Nell'ambito del presente PFTE, il raggiungimento di un'accurata definizione sullo stato di consistenza ha permesso al costituendo RTP di riconoscere l'intervento di messa in sicurezza del corpo di sbarramento come elemento prioritario rispetto agli interventi sulle opere accessorie, quali il ponte di attraversamento, lo sfioratore, il coronamento della diga, lo scarico di fondo, la casa di guardia, la torre di presa e l'impianto di monitoraggio.

Tale intervento prioritario, relativo alla messa in sicurezza del corpo diga, viene assunto come STRALCIO 1, al quale è assegnato l'importo economico compatibile con il finanziamento originario dell'opera.

L'RTP, nell'ottica di completezza progettuale e di adesione alla norma in materia di dighe (DM 26/06/2014) che assume le opere accessorie quali parte costituente dell'impianto di ritenuta, ha ritenuto opportuno, di concerto con la Stazione Appaltante e l'Autorità di vigilanza (Direzione Generale Dighe), estendere il Progetto anche alle opere accessorie, tra l'altro, in parte già citate nel Documento di Indirizzo della Progettazione. Tale estensione progettuale è stata sviluppata a seguito delle risultanze diagnostiche e materiche, che testimoniano lo stato di degrado delle medesime. Inoltre, in virtù della particolarità dell'intervento, sono state anche assunte iniziative progettuali di carattere paesaggistico nonché ambientale, che concorrono alla tutela delle matrici ambientali interferite ed all'abbattimento dell'impatto generato dal cantiere:

- È stato previsto un argine di ritenuta idraulica a presidio del paramento diga, funzionale a contenere un livello idraulico modesto sull'invaso, ma tale da scongiurare il vuotamento dell'invaso ed il conseguente danno alle comunità biotiche
- È stata prevista la rimozione del rivestimento esistente in blocchi quadrati di pietra a monte dell'attuale paramento, e la successiva ricollocazione sul paramento del nuovo contromuro, così da conferire lo stesso impatto estetico e architettonico che oggi il manufatto presenta.

Tali iniziative progettuali, come anche la definizione dell'intervento primario di messa in sicurezza del corpo diga, sono state computate ricorrendo al prezzario regionale della Sardegna 2022 o, in caso di carenza delle specifiche voci di prezzo,

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 70

ad analisi di mercato. I prezzi così derivati, diversamente dagli importi originariamente assunti in sede di gara d'appalto, includono il recente rincaro economico di mercato legato alla situazione inflazionistica e al recente conflitto russo-ucraino.

Tali elementi hanno generato un incremento significativo degli importi dei lavori rispetto alle previsioni di base gara: ne deriva, pertanto, la necessità di presentare il Quadro Economico sviluppato sulle alternative già citate:

- La prima alternativa di intervento, nominata STRALCIO 1, che include la messa in sicurezza del corpo diga con la realizzazione del contromuro; non sono comprese le iniezioni sul corpo della diga esistente, il rivestimento in blocchi, l'impianto elettrico, la sistemazione dei cunicoli esistenti, e l'opera provvisoria di ritenuta (argine) necessario per evitare il vuotamento temporaneo del bacino. Sono inoltre esclusi tutti gli interventi sulle opere accessorie
- La seconda alternativa, nominata STRALCIO 2, conduce, in successione alla precedente, al raggiungimento dell'OPERA COMPLETA. Include tutti gli oneri di cantierizzazione al fine di tutelare la risorsa idrica e l'ecosistema connesso, il mantenimento del rivestimento sul paramento di monte e gli interventi sulle opere accessorie.

Si evidenzia che l'eventuale attuazione del solo STRALCIO 1 risulterà funzionale alla messa in sicurezza dell'opera principale, ovvero del corpo diga, ma non sarà sufficiente per ammettere il ripristino dell'invaso alla quota di massima regolazione: tale condizione, il reinvaso totale, risulterebbe infatti incompatibile con l'attuale stato di consistenza dello scaricatore di superficie.

In Tabella 3 viene presentata la distinta degli importi riferiti alle singole categorie d'opera per l'OPERA COMPLETA ed i relativi STRALCI. In Tabella 4 si riporta invece la distinta per la categoria DIGA per l'OPERA COMPLETA e lo STRALCIO 1.

Rev.2	Data: Aprile 2023		
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria		Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 71

**Tabella 3 – Importi distinti per categoria d’opera da riferirsi allo STRALCIO e all’OPERA COMPLETA**

CATEGORIA	OPERA COMPLETA	IMPORTO STRALCIO 1	IMPORTO STRALCIO 2
DIGA	5,999,680.68 €	4,516,058.28 €	1,483,622.40 €
CORONAMENTO DIGA	241,464.18 €	- €	241,464.18 €
PONTE CARRABILE	85,471.47 €	- €	85,471.47 €
CASA DI GUARDIA E LOCALI TECNICI	275,000.00 €	- €	275,000.00 €
SFIORATORE	1,284,265.64 €	- €	1,284,265.64 €
SCARICO DI FONDO	301,277.22 €	- €	301,277.22 €
CANTIERIZZAZIONE	1,222,526.40 €	366,757.92 €	855,768.48 €
MONITORAGGI	300,000.00 €	- €	300,000.00 €
<b>TOTALE</b>	<b>9,709,685.59 €</b>	<b>4,882,816.20 €</b>	<b>4,826,869.39 €</b>

**Tabella 4 – Importi distinti per la categoria d’opera DIGA da riferirsi allo STRALCIO e all’OPERA COMPLETA**

CATEGORIA DIGA	OPERA COMPLETA	STRALCIO 1	note
Iniezioni	1,308,287.53 €	227,114.73 €	si considerano le iniezioni sul solo contromuro (si de-traggono le voci 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 24)
Demolizioni opere esistenti e rimozioni	283,189.08 €	283,189.08 €	
Movimenti terra	234,702.53 €	234,702.53 €	
Drenaggi	36,802.40 €	36,802.40 €	
Opere in c.a.	3,456,369.36 €	3,456,369.36 €	
Impermeabilizzazioni, coibentazioni e giunti	28,144.05 €	28,144.05 €	
Opere di finitura	202,449.60 €	- €	
Impianti elettrici	200,000.00 €	- €	
Trasporti ad impianti di smaltimento	152,926.72 €	152,926.72 €	
Oneri di smaltimento	96,809.41 €	96,809.41 €	
<b>TOTALE</b>	<b>5,999,680.68 €</b>	<b>4,516,058.28 €</b>	

A seguire viene dunque presentato il Quadro Economico in n°3 versioni: nella prima versione, riferita allo STRALCIO 1, gli importi relativi alle prestazioni tecniche in appalto sono corrispondenti a quelli di gara. Negli altri casi, i rispettivi importi sono derivati dal calcolo di parcella, applicando lo sconto presentato in sede di offerta.

Si evidenzia che, per la PROGETTAZIONE DEFINITIVA dell’OPERA COMPLETA, non viene considerata l’attività relativa allo Studio di Impatto Ambientale.

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II127I-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 72
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

## 17.1. Quadro economico dello STRALCIO 1

ID - POTDFIDH142002				
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE E AMPLIAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE CONTROLLO DELLA DIGA DI GOVOSSAI - FONNI (NU)". POTDFIDH141002			STRALCIO 1	
Importo dei lavori al netto della sicurezza			4,882,816.20	
Importo dei costi per l'attuazione dei piani di sicurezza			5.00% 244,140.81	
Importo totale dei lavori			5,126,957.01	
SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE				
10.0%	IVA al 10%	IVA sull'importo totale dei lavori	512,695.70	
22.0%	IVA al 22%	Rilievi e indagini	156,775.87	da indagini TECNOIN
		Spese tecniche allacciamenti ai pubblici servizi	0.00	
		Spese tecniche per acquisizione o espropriazione di aree o immobili	0.00	
		Spese generali della Stazione Appaltante	228,493.15	
		Incarichi professionali:		
		Oneri per progettazione preliminare	62,753.78	da incarico RTP
		Oneri per progettazione definitiva	198,419.05	da incarico RTP
		Oneri per progettazione esecutiva	96,334.54	da incarico RTP
		Oneri per attività di verifica della progettazione preliminare	20,049.24	
		Oneri per attività di verifica della progettazione definitiva ed esecutiva	86,880.04	
		Direzione lavori, contabilità e coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione	158,368.07	da incarico RTP
		Assistenza al RUP	50,000.00	
		Collaudo tecnico-amministrativo in corso d'opera	26,732.32	
		Collaudo statico	0.00	
		Collaudo tecnico-funzionale ex art. 14 D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363	73,513.88	
		Oneri per Assistente Governativo ex art. 11 D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363	30,919.27	
		Oneri per Collegio Consultivo Tecnico ex. art. 6 DL 76/2020 e ss. mm. e ii.	240,000.00	
		Cassa previdenziale (4%)	19,973.46	
		Varie e pubblicazioni	0.00	
		Totale IVA al 22%		
10.0%	IVA al 10%	Lavori in economia previsti in progetto ma esclusi dall'appalto	0.00	
		Incremento del prezzo chiuso (articolo 133, comma 7, D.Lgs. 163/2006)	0.00	
		Totale IVA al 10%	0.00	
Voci senza IVA	Acquisizione o espropriazione di aree o immobili	0.00		
	Allacci vari	0.00		
	Oneri ex art. 4, comma 5, D.L. 18.04.2019 n. 32 (Ufficio Commissariale)	200,000.00		
	Accantonamento di cui all'articolo 12 del DPR 207/2010 (3%)	153,808.71		
	Maggiori lavori imprevisi (5%)	256,347.85		
	Contributo Autorità di Vigilanza	800.00		
<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE</b>			2,663,397.70	
Importo totale dell'intervento			7,790,354.71	
Importo totale (finanziato) dell'intervento al netto dell'IVA			7,000,000.00	
IVA a carico Abbanoa S.p.A.			10.15% 790,354.71	
Il Responsabile del Procedimento				
Ing. Antonio Demontis				

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 73
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

## 17.2. Quadro economico dello STRALCIO 2

ID - POTDFIDH142002			
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE E AMPLIAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE CONTROLLO DELLA DIGA DI GOVOSSAI - FONNI (NU)". POTDFIDH141002			STRALCIO 2
		Importo dei lavori al netto della sicurezza	4,826,869.39
		Importo dei costi per l'attuazione dei piani di sicurezza	5.00% 241,343.47
		Importo totale dei lavori	5,068,212.86
SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
10.0%	IVA al 10%	IVA sull'importo totale dei lavori	506,821.29
22.0%	IVA al 22%	Rilievi e indagini	156,775.87 da indagini TECNOIN
		Spese tecniche allacciamenti ai pubblici servizi	0.00
		Spese tecniche per acquisizione o espropriazione di aree o immobili	0.00
		Spese generali della Stazione Appaltante	228,493.15
		Incarichi professionali:	
		Oneri per progettazione preliminare	62,753.78 da incarico RTP
		Oneri per progettazione definitiva	233,197.79 senza SIA
		Oneri per progettazione esecutiva	95,755.56
		Oneri per attività di verifica della progettazione preliminare	20,049.24
		Oneri per attività di verifica della progettazione definitiva ed esecutiva	86,072.42
		Direzione lavori, contabilità e coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione	221,581.07
		Assistenza al RUP	50,000.00
		Collaudo tecnico-amministrativo in corso d'opera	26,483.82
		Collaudo statico	72,830.50
		Collaudo tecnico-funzionale ex art. 14 D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363	
		Oneri per Assistente Governativo ex art. 11 D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363	30,631.85
		Oneri per Collegio Consultivo Tecnico ex art. 6 DL 76/2020 e ss. mm. e ii.	240,000.00
		Cassa previdenziale (4%)	29,905.96
		Varie e pubblicazioni	0.00
	Totale IVA al 22%	341,996.82	
10.0%	IVA al 10%	Lavori in economia previsti in progetto ma esclusi dall'appalto	0.00
		Incremento del prezzo chiuso (articolo 133, comma 7, D.Lgs. 163/2006)	0.00
		Totale IVA al 10%	0.00
	Voci senza IVA	Acquisizione o espropriazione di aree o immobili	0.00
		Allacci vari	0.00
		Oneri ex art. 4, comma 5, D.L. 18.04.2019 n. 32 (Ufficio Commissariale)	200,000.00
		Accantonamento di cui all'articolo 12 del DPR 207/2010 (3%)	152,046.39
		Maggiori lavori imprevidi (5%)	253,410.64
		Contributo Autorità di Vigilanza	800.00
<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE</b>			3,009,606.13
Importo totale dell'intervento			8,077,819.00
Importo totale (finanziato) dell'intervento al netto dell'IVA			7,229,000.89
IVA a carico Abbanoa S.p.A.			10.51% 848,818.11
Il Responsabile del Procedimento			
Ing. Antonio Demontis			

Rev.2	Data: Aprile 2023	Elaborato II1271-GEN-R001_2 Relazione generale	Pag. n. 74
Technital SpA Lombardi Ingegneria srl SERV.IN. Ingegneria srl Lombardi SA Ingegneri Consulenti Brath Armando Luigi Maria			

### 17.3. Quadro economico dell'OPERA COMPLETA

ID - POTDFIDH142002				
CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE E AMPLIAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE CONTROLLO DELLA DIGA DI GOVOSSAI - FONNI (NU)". POTDFIDH141002		OPERA COMPLETA		
Importo dei lavori al netto della sicurezza			9,709,685.59	
Importo dei costi per l'attuazione dei piani di sicurezza		4.84%	469,540.35	
Importo totale dei lavori			<b>10,179,225.94</b>	
<b>SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE</b>				
10.0%	IVA al 10%	IVA sull'importo totale dei lavori	1,017,922.59	
22.0%	IVA al 22%	Rilievi e indagini	156,775.87	da indagini TECNICO
		Spese tecniche allacciamenti ai pubblici servizi	0.00	
		Spese tecniche per acquisizione o espropriazione di aree o immobili	0.00	
		Spese generali della Stazione Appaltante	228,493.15	
		Incarichi professionali:		
		Oneri per progettazione preliminare	62,753.78	da incarico RTP
		Oneri per progettazione definitiva	400,120.42	senza SIA
		Oneri per progettazione esecutiva	168,635.14	
		Oneri per attività di verifica della progettazione preliminare	20,049.24	
		Oneri per attività di verifica della progettazione definitiva ed esecutiva	151,582.14	
		Direzione lavori, contabilità e coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione	390,387.33	
		Assistenza al RUP	50,000.00	
		Collaudo tecnico-amministrativo in corso d'opera	46,640.66	
		Collaudo statico	44,891.64	
		Collaudo tecnico-funzionale ex art. 14 D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363	83,370.18	
		Oneri per Assistente Governativo ex art. 11 D.P.R. 1° novembre 1959, n. 1363	53,945.75	
		Oneri per Collegio Consultivo Tecnico ex. art. 6 DL 76/2020 e ss. mm. e ii.	240,000.00	
		Cassa previdenziale (4%)	43,234.68	
		Varie e pubblicazioni	0.00	
		Totale IVA al 22%		470,993.59
10.0%	IVA al 10%	Lavori in economia previsti in progetto ma esclusi dall'appalto	0.00	
		Incremento del prezzo chiuso (articolo 133, comma 7, D.Lgs. 163/2006)	0.00	
		Totale IVA al 10%	0.00	
Voci senza IVA	Acquisizione o espropriazione di aree o immobili	0.00		
	Allacci vari	0.00		
	Oneri ex art. 4, comma 5, D.L. 18.04.2019 n. 32 (Ufficio Commissariale)	200,000.00		
	Accantonamento di cui all'articolo 12 del DPR 207/2010 (3%)	305,376.78		
	Maggiori lavori imprevisi (5%)	508,961.30		
	Contributo Autorità di Vigilanza	800.00		
<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE</b>			<b>4,644,934.22</b>	
Importo totale dell'intervento			14,824,160.16	
Importo totale (finanziato) dell'intervento al netto dell'IVA			<b>13,335,243.98</b>	
IVA a carico Abbanoa S.p.A.		10.04%	1,488,916.18	
Il Responsabile del Procedimento				
Ing. Antonio Demontis				