



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
Ente acque della Sardegna
Ente Abbas de Sardigna



INTERVENTO DI COMPLETAMENTO DEI LAVORI DI AMPLIAMENTO DEL SERBATOIO DI MACCHERONIS



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE TECNICA E ILLUSTRATIVA

Tav./Elab. **E.01**
Rev. **01**

1 0 0 G E N R S P 0 0 1 A 17 Lug 2020
sezione sub-sezione tipo ufficio prog. n° serie rev. data

Il Progettista



Sicurezza in fase di Progettazione
Arch. Andrea Serafini
Ordine degli Architetti della Provincia di Roma -
n° 13448

**Ingegnere Progettista e Responsabile dell'Integrazione
tra le varie Prestazioni Specialistiche**

Ing. Antonio Pietrangeli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma - n° 20897

Geologia
Dott. Andrea Cona
Ordine degli Geologi della Toscana - n° 795

Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Francesco Caturano

Il Direttore Generale
Ing. Maurizio Cittadini

Il Direttore del Servizio Dighe
Ing. Antonio Loche

Luglio 2020

 RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1. GENERALE	1
1.2. CONTENUTO DEL PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICA	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3. PRECEDENTI	7
3.1. SINTESI CRONOLOGICA	7
3.2. PROGETTO DI COSTRUZIONE (1959)	8
3.3. PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL SERBATOIO (2005)	10
4. STATO DI FATTO	12
4.1. INTRODUZIONE	12
4.2. STATO DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI AMPLIAMENTO PREVISTE (2005)	12
4.3. PIANO DI LAMINAZIONE ATTUALE	15
4.4. SCHERMI DI IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO	16
4.5. SOTTOPRESSIONI	18
4.6. FILTRAZIONI IN FONDAZIONE	23
4.7. STRUMENTAZIONE	24
5. INTERVENTO DI COMPLETAMENTO DEI LAVORI DI AMPLIAMENTO	30
5.1. GENERALE	30
5.2. CARATTERISTICHE DELLE OPERE (STATO FINALE)	30
5.3. REALIZZAZIONE DI UNA SOGLIA SFIORANTE IN CRESTA DIGA	33
5.4. COMPLETAMENTO DEL SOPRALZO DEI CONCI EMERGENTI	35
5.5. SISTEMA DI DRENAGGIO	35
5.6. STRUMENTAZIONE	36
5.1. SCARICO DI ALLEGGERIMENTO	38
6. CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI	40
7. STIMA DEI COSTI DELLE OPERE	41

LISTA delle FIGURE

<i>Fig. 1.1 : Configurazione originaria diga</i>	<i>1</i>
<i>Fig. 1.2 : Configurazione attuale della diga (2020, SP; foto da drone)</i>	<i>2</i>
<i>Fig. 3.1 : Configurazione originaria diga</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 3.2 : Sezione tipo originaria conci trascinabili</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 3.3 : Dettaglio sovrizzo conci non trascinabili (dal progetto esecutivo, Lombardi et al. 2005)</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 3.4 : Scarico di superficie in sponda sinistra (dal progetto esecutivo, Lombardi et. al. 2005)</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 4.1 : Configurazione attuale della diga (2020, SP; foto da drone)</i>	<i>12</i>

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

<i>Fig. 4.2 : Vista dall'alto (SP, maggio 2020, foto da drone)</i>	13
<i>Fig. 4.3 : Vista dalla sponda sinistra, ex soglia sfiorante oggi demolita e sagomata a gradoni</i>	13
<i>Fig. 4.4 : Conci ex soglia sfiorante, sagomatura a gradoni</i>	14
<i>Fig. 4.5 : Scarico di alleggerimento - Vista da monte e da valle dello stato attuale</i>	14
<i>Fig. 4.6 : Scarico di superficie in sponda sinistra (foto maggio 2020, SP)</i>	15
<i>Fig. 4.7 : Scala di deflusso della diga, condizioni attuali (da rel. Prof Ravaglioli, 2017)</i>	15
<i>Fig. 4.8 : Limitazioni dei livelli di massima regolazione</i>	16
<i>Fig. 4.9 : Sezione tipo con doppio schermo di monte e cuciture (da Prog. Esec. Tomasi, 2001)</i>	17
<i>Fig. 4.10 : Profilo con schermo di drenaggio e piezometri (Prog. Es. Tomasi 2001)</i>	17
<i>Fig. 4.11 : Retrodiga in alveo, a valle della diga (foto SP, 2020)</i>	19
<i>Fig. 4.12 : Sezione tipo concio X (figura in alto)</i>	20
<i>Fig. 4.13 : Sottopressioni al piezometro 2 prima e dopo la realizzazione dei drenaggi in fondazione</i>	21
<i>Fig. 4.14 : Sezione tipo concio XIV, andamento sottopressioni al piezometro 3</i>	21
<i>Fig. 4.15 : Sottopressioni al piezometro 3 prima e dopo la realizzazione dei drenaggi in fondazione</i>	22
<i>Fig. 4.16 : Diagramma Perdite-Livelli serbatoio da serie storica a disposizione</i>	23
<i>Fig. 4.17 : Filtrazioni visibili in sponda destra, conci VI, VII e X</i>	24
<i>Fig. 4.18 : Fenomeni di efflorescenza sul paramento di valle (conci VII e XIV e XV)</i>	24
<i>Fig. 4.19 : Particolari dello scarico di alleggerimento</i>	26
<i>Fig. 4.20 : Pianta, ubicazione delle prove in situ sui calcestruzzi</i>	27
<i>Fig. 4.21 : Indagini con lo sclerometro (a sinistra), indagini SASW (a destra)</i>	27
<i>Fig. 4.22 : Prove sclerometriche (SP, 2020)</i>	28
<i>Fig. 4.23 : Indagini UPV – Concio IX al piede (pos.7)</i>	28
<i>Fig. 4.24 : Risultati prove UPV (SP, 2020)</i>	29
<i>Fig. 4.25 : Correlazione risultati UPV e resistenze del calcestruzzo</i>	29
<i>Fig. 5.1 : Curva di invaso del serbatoio di Maccheronis sul fiume Posada (ENAS 2016)</i>	31
<i>Fig. 5.2 : Piene di progetto, picco di portata e volumi cumulati</i>	32
<i>Fig. 5.3 : Scala di deflusso degli organi di scarico</i>	32
<i>Fig. 5.4 : Schema del concio trascinabile (configurazione finale)</i>	34
<i>Fig. 5.5 : Nuovi interventi previsti per il sistema di drenaggio</i>	36
<i>Fig. 5.6 : Interventi previsti per la strumentazione</i>	37
<i>Fig. 5.7 : Interventi previsti per lo scarico di alleggerimento</i>	38

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

1. INTRODUZIONE

1.1. GENERALE

La diga di Maccheronis, ultimata nel 1959, è uno sbarramento realizzato sul Rio Posada in località S.Giovanni, a circa 6 km ad ovest di Torpé, in provincia di Nuoro. La diga fu realizzata per soddisfare i bisogni irrigui delle pianure di Siniscola, Posada e Torpé.

Il bacino, di estensione pari a circa 611 km², è situato nella parte nordorientale dell'isola tra le province di Nuoro e Sassari tra la catena del Monte Albo a sud, i Monti di Bitti e di Alà dei Sardi ad Ovest.

La diga è una classica struttura a gravità in calcestruzzo, a pianta leggermente arcuata, di altezza massima pari a 47 m dalla quota più depressa delle fondazioni, e con lunghezza al coronamento circa 338 m. Lo sfioratore principale ($Q = 2643 \text{ m}^3/\text{s}$) era situato in cresta diga, sui conci centrali, con soglia fissa a cui si aggiunge lo scarico di alleggerimento ($Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$) con portata complessiva pari a circa 2950 m³/s alla quota di massimo invaso (46.5 m s.l.m.). Completavano gli organi di scarico la presa in sponda destra e lo scarico di fondo, in sponda sinistra. Lo schermo di drenaggio realizzato era solo parzialmente efficace, sia in corpo diga né in fondazione.



Fig. 1.1 : Configurazione originaria diga

Per migliorare la sicurezza della diga, all'inizio degli anni 2000 sono stati realizzati un nuovo schermo di drenaggio in fondazione ed interventi di riabilitazione dello schermo di iniezioni.

Quindi, per soddisfare l'incremento dei fabbisogni irrigui dell'area servita e le sopravvenute utilizzazioni idropotabile ed industriale, a partire dalla metà degli anni 2000 sono stati progettati e progressivamente

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

realizzati, anche se solo parzialmente, interventi per l'ampliamento del volume del serbatoio di Maccheronis che includevano:

- la realizzazione di un nuovo scarico di superficie controllato da paratoie a segmento, in sponda sinistra, per una piena sfiorante di progetto pari a 3356 m³/s
- l'eliminazione dell'esistente scarico di superficie in fregio al coronamento con il sopralzo della soglia, resa non tracimabile
- la modifica dello scarico di alleggerimento
- l'adeguamento del sistema di monitoraggio della diga

Gli interventi previsti, mantenendo un uso esclusivamente idropotabile ed irriguo del serbatoio, consentivano:

- un innalzamento della quota massima di regolazione da 43.00 m s.l.m. a 46.00 m s.l.m.
- un aumento della capacità utile del serbatoio di 10 Mm³
- invariata la quota di massimo invaso attuale pari a 46.50 m s.l.m.



Fig. 1.2 : Configurazione attuale della diga (2020, SP; foto da drone)

Alcuni eventi alluvionali (Dicembre 2004, Gennaio 2006 e Novembre 2008) avevano provocato danni significativi a valle dello sbarramento, causando rotture arginali in più punti e la sommersione di un'area estesa di Torpè e di Posada. Quindi, l'evento di piena più estremo del 18.11.2013, con portata al colmo prossima alla portata millenaria di progetto della diga, ha causato un'onda di piena straordinaria a valle con danni ingenti, specialmente all'abitato e alle campagne di Torpè, e con perdita di vite umane.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Sono state quindi definite limitazioni dei livelli di invaso, allo scopo di migliorare la sicurezza idraulica dei territori a valle e, sono stati effettuati nuovi studi idrologici che hanno portato alla rivalutazione della piena millenaria, attualmente valutata pari a 4653 m³/s.

Sulla base di queste indicazioni e prescrizioni, è stato effettuato uno studio di fattibilità per l'aggiornamento ed il completamento dell'ampliamento (Lombardi, 2018). Questo studio costituisce il punto di partenza per lo sviluppo del presente progetto.

Il presente incarico ha quindi come oggetto il completamento dei lavori di ampliamento del serbatoio di Maccheronis, ed in particolare dei lavori in corpo diga. Le opere di completamento dello sfioratore in sponda sinistra, in costruzione, sono oggetto di altro incarico.

Le opere principali previste in questo progetto di completamento sono:

- Realizzazione di una nuova soglia sfiorante in corpo diga, con portata di progetto pari a 936 m³/s, impostata sul profilo attuale del coronamento e compresa di passerella;
- Completamento dell'innalzamento dei conci emergenti della diga, sui conci di estremità;
- Realizzazione di drenaggi in corpo diga;
- Adeguamento del sistema di monitoraggio e strumentazione;
- Sostituzione della paratoia dello scarico di alleggerimento con paratoia a ventola di maggior altezza;

Considerato che il volume utile del progetto originario era 26.9 Mm³, a quota 43 m s.l.m., il progetto consente un aumento della capacità di regolazione di 5.4 Mm³ oltre all'adeguamento della piena di progetto a 4653 m³/s.

Come indicato nel disciplinare, l'incarico sarà svolto nel rispetto delle indicazioni e prescrizioni indicate nelle NT-Dighe 2014 e dovrà essere ispirato ai seguenti obiettivi:

- massimizzare il volume d'invasabile tenendo conto della gestione in sicurezza dello sbarramento e delle portate esitate a valle dagli scarichi dello sbarramento
- garantire il mantenimento in servizio dello sbarramento, durante la fase di costruzione delle opere, principalmente in relazione alla necessità di assicurare la continuità del servizio di erogazione idrica

Le opere dovranno garantire nel corso del tempo una ottimale gestione dello sbarramento, con particolare riguardo alla sicurezza dello sbarramento ed alla incolumità delle popolazioni a valle. Nel suo complesso, l'intervento dovrà inoltre essere orientato, nel rispetto dei vincoli finanziari e di natura tecnica, al migliore inserimento ambientale delle opere ed alla minimizzazione degli impatti delle stesse.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

1.2. CONTENUTO DEL PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICA

Il progetto di fattibilità è illustrato nei seguenti rapporti:

- 100 GEN R SP 001 Relazione Illustrativa e tecnica
- 120 GEN R SP 001 Relazione Idrologica
- 130 GEO R SP 001 Relazione Geologica
- 135 GET R SP 001 Relazione Geotecnica
- 140 IDR R SP 001 Relazione Idraulica
- 150 STR R SP 001 Relazione Strutturale
- 160 SPC R SP 001 Prime indicazioni sulla sicurezza
- 170 AMB R SP 001 Studio di prefattibilità ambientale e Monitoraggio ambientale
- 180 SOM R SP 001 Calcolo sommario della spesa e Quadro economico

e dei seguenti disegni allegati:

- 100 GEN D SP 001 Inquadramento generale
- 100 GEN D SP 001 Planimetria generale
- 100 GEN D SP 003 Carta dei vincoli
- 100 GEN D SP 004 Stato di Fatto - planimetria 1 k
- 100 GEN D SP 005 Stato di Fatto – vista di monte e di valle
- 100 GEN D SP 006 Stato di Fatto – sezioni tipo
- 100 GEN D SP 007 Stato di Fatto – ispezione in situ, maggio 2020
- 100 GEN D SP 008 Opere di ampliamento - planimetria 1 k
- 100 GEN D SP 009 Opere di ampliamento – vista di monte e di valle
- 100 GEN D SP 010 Opere di ampliamento – sezioni tipo
- 100 GEN D SP 011 Opere di ampliamento – drenaggi, pianta e profilo
- 100 GEN D SP 012 Opere di ampliamento – sistema di monitoraggio
- 100 GEN D SP 013 Inondazione preliminare, piena millenaria

Questo rapporto illustra i contenuti progettuali, ed in particolare lo stato di fatto e le opere previste, mentre gli studi effettuati sono presentati nelle relazioni specialistiche.

Il contenuto di questo rapporto è illustrato qui di seguito.

Il Capitolo 2 della relazione riassume tutti i documenti a disposizione dello Studio Pietrangeli utilizzate come base per lo sviluppo del progetto.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Il Capitolo 3 traccia i tratti principali della storia del progetto dalla costruzione, agli interventi realizzati fino al progetto di ampliamento del serbatoio di Maccheronis.

Al Capitolo 4 sono illustrate le caratteristiche principali delle opere esistenti analizzando lo stato di fatto in generale e di alcuni aspetti specifici per questo progetto, attraverso i risultati dell'ispezione in situ e mediante l'analisi delle misure realizzate dalla strumentazione.

Il Capitolo 5 presenta le caratteristiche principali degli interventi di completamento del progetto di ampliamento.

Il capitolo 6 riporta sinteticamente le principali fasi lavorative ed il cronoprogramma dei lavori.

Al Capitolo 7 è mostrata la stima dei costi delle opere da realizzare.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1] 2001, Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale, Ing. G.Tomasi, "Progetto esecutivo opere di manutenzione straordinaria e ripristino degli schermi di tenuta e drenaggio".
- [2] 2004, GTA, "Ampliamento dell'invaso di Maccheronis sul fiume Posada – Studio di Impatto Ambientale"
- [3] 2005, RTI Lombardi et al., "Progetto esecutivo per l'ampliamento del serbatoio"
- [4] 2006, Assessorato dei Lavori pubblici. Servizio Difesa del Suolo., "Linee guida per la redazione del progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. Regione Autonoma della Sardegna",
- [5] 2012, Hydrodata," Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF). Sub bacino 05 Posada-Cedrina. Relazione Monografica del Bacini Idrografico Fiume Posada";
- [6] 2013 ed ggioramento nel 2016, DICAAR (Prof. Ing. Montaldo), "Definizione dei Modelli idrologici per la gestione degli eventi di piena nei principali serbatoi artificiali della Sardegna. All. B13_POSADA A MACCHERONIS";
- [7] 2016, DICAAR (Prof. Ing. Sechi), "...Bacino del fiume Posada. Relazione sulla laminazione - Invaso diga di Maccheronis";
- [8] 2016, MIT, Direzione generale per le dighe, "Approfondimenti tecnici in merito alle condizioni di sicurezza della diga"
- [9] 2017, DICAAR (Prof. Ing. Montaldo), "Analisi di sensitività. Studio idrologico serbatoio rio Posada a Maccheronis ";
- [10] 2017, Direzione Generale Agenzia Regionale del Distretto Idrologico della Sardegna, "Verifiche idrauliche dighe ENAS. Analisi di sensitività DICAAR del giugno 2017";
- [11] 2017, Prof. U.Ravaglioli. Diga di Maccheronis, "Relazione sulle condizioni di sicurezza durante la fase transitoria e proposte per la sistemazione definitiva".
- [12] 2018, MIT. Direzione generale per le dighe, "Rivalutazione della portata di massima piena del rio Posada alla diga di Maccheronis (Nu). Relazione Istruttoria";
- [13] 2018, RTI Lombardi et al. "Serbatoio di Maccheronis. Studio di fattibilità per intervento di completamento dei lavori di ampliamento" .

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

3. PRECEDENTI

3.1. SINTESI CRONOLOGICA

Alla fine degli anni '50 l'allora Consorzio di Bonifica del Nuorese costruì un nuovo invaso in corrispondenza della stretta di Maccheronis per soddisfare i bisogni irrigui delle pianure di Siniscola, Posada e Torpè.

La diga di Maccheronis fu completata nel 1959 con un volume utile d'invaso pari a circa 25 Mm³.

L'incremento dei fabbisogni irrigui dell'area servita (ricadenti nei Comuni di Torpè, Siniscola, Posada, Budoni, San Teodoro) e le sopravvenute utilizzazioni idropotabile ed industriale, avevano messo in evidenza la necessità di un ampliamento del volume del serbatoio di Maccheronis.

Nel 1999, su incarico conferito dal Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale, l'Ing. G. Tomasi ha redatto il progetto preliminare per l'ampliamento del serbatoio ed il ripristino degli schermi di tenuta e di drenaggio. Il progetto prevedeva principalmente il tamponamento delle luci di sfioro esistenti locate sul coronamento della diga e la realizzazione di un nuovo scarico di superficie esterno allo sbarramento, in sponda sinistra.

Sulla base delle risultanze del progetto preliminare, l'Ing. Tomasi ha proceduto nel 2001 alla stesura del progetto esecutivo delle sole opere di manutenzione straordinaria e di ripristino degli schermi di tenuta e di drenaggio dello sbarramento.

Negli anni successivi, il Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale ha infine incaricato la ATI di progettazione composta dalla Lombardi SA ed altri di svolgere le attività di progettazione definitiva ed esecutiva per l'ampliamento del serbatoio di Maccheronis. Il progetto esecutivo, ultimato nel Giugno 2005, è stato approvato nello stesso anno ed i lavori sono stati appaltati nel 2006 all'impresa Giuseppe Maltauro SpA (oggi I.C.M. SpA).

A seguito dell'eccezionale evento di piena del Novembre 2013 l'ENAS, gestore dell'opera, ha avviato e concluso degli studi idrologici sul bacino idrografico sotteso dalla diga di Maccheronis, rivolti alla rivalutazione idrologica ed al conseguente aggiornamento degli idrogrammi di progetto relativi agli eventi di piena millenari. Su incarico Enas, nel periodo 2013-2017 il dipartimento di ingegneria Civile-Ambientale e Architettura della Università degli studi di Cagliari (DICAAR) ha predisposto lo studio idrologico, un'analisi di sensitività e la verifica idraulica degli organi di scarico nella configurazione ante e post le opere previste nel Progetto esecutivo per l'ampliamento del serbatoio – Giugno 2005.

Da questi studi è scaturita la necessità di una revisione progettuale delle opere previste nel progetto di ampliamento, con particolare riguardo alla capacità degli organi di scarico dello sbarramento di far defluire gli eventi di piena millenari stimati con il nuovo studio.

Nella relazione del 2017 del Prof. U. Ravaglioli vengono verificate le condizioni di sicurezza della diga Maccheronis sul Rio Posada, nella sua attuale configurazione e nelle possibili configurazioni che si avranno durante l'esecuzione dei lavori, e viene proposta come sistemazione definitiva la realizzazione di uno sfioro libero in fregio allo sbarramento ripristinando la funzione sfiorante della diga.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

L'ENAS ha quindi predisposto uno studio di fattibilità, redatto dalla Lombardi SA Ingegneri Consulenti nel Gennaio 2018, che prevede, in sintesi, di ridurre l'entità del sovrizzo ed il ripristino di uno scarico in fregio allo sbarramento, in aggiunta a quello in fase di completamento in sponda sinistra. L'Ufficio Tecnico per le Dighe di Cagliari del MIT, con nota prot. n. 4246 del 21.02.2019, ha approvato le soluzioni progettuali proposte nello studio.

Con Perizia n°2 del 2018, l'Ente ha proceduto allo stralcio dei lavori di tamponamento dei conci trascinabili e di riforma dello scarico di alleggerimento.

Sono tutt'ora in corso i lavori di completamento dello scarico di superficie in sponda sinistra.

3.2. PROGETTO DI COSTRUZIONE (1959)

Le opere esistenti nella configurazione originaria erano costituite da una diga a gravità costituita da 24 conci, di cui 9 non trascinabili, con un coronamento a quota 48.04 m s.l.m. della lunghezza totale di 338.5 m.

Le sezioni diga, ricavate dal triangolo fondamentale con vertice alla quota di massimo invaso (46.50 m s.l.m.) e apertura totale di 0.74, hanno pendenza del paramento di monte pari a 0.04 e di quello di valle pari a 0.70.

In fregio alla cresta, su 14 conci centrali, è ricavato uno sfioratore a soglia fissa a quota 43 m s.l.m. capace di smaltire una portata di 2'643 m³/s in corrispondenza della quota di massimo invaso (46.50 m s.l.m.).



Fig. 3.1 : Configurazione originaria diga

Accanto a questo sfioratore vi è un concio in cui è stato inserito uno scarico di superficie con soglia a quota 40.5 m s.l.m., munito di paratoia automatica a settore con bordo superiore alla quota di massima regolazione (43.0 m s.l.m.). Esso, che ha la funzione di scaricare le piene minori prima che venga interessato lo sfioratore principale, ha una capacità pari a circa 300 m³/s alla quota di massimo invaso (46.50 m s.l.m.).

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Lo scarico di fondo è costituito da una galleria circolare di diametro 3.5 m della lunghezza totale di 199 m, ricavata in sponda sinistra, con una capacità pari a circa 65 m³/s. E' intercettata a metà percorso circa da due paratoie piane movimentabili da una soprastante camera di manovra.

In sponda destra è stata realizzata l'opera di presa.

Da rilevare che la capacità complessiva degli organi di scarico dello sbarramento ammonta a circa 3'000 m³/s.

La figura seguente illustra la sezione tipo di un concio trascinabile.

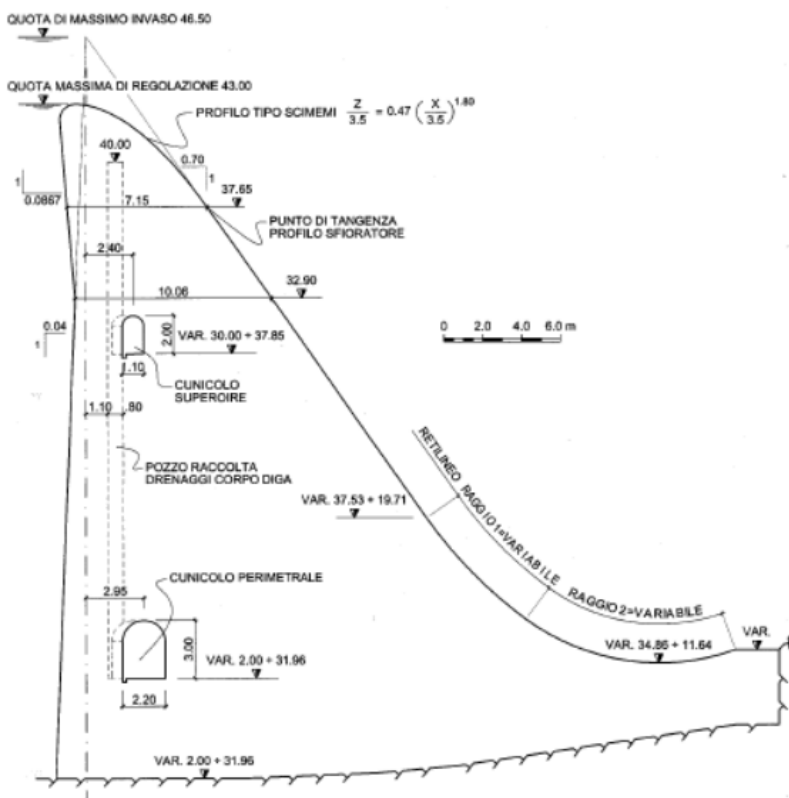


Fig. 3.2 : Sezione tipo originaria conchi trascinabili

Il corpo dello sbarramento è attraversato da due cunicoli. Il cunicolo superiore, si estende tra il concio n°V ed il concio n°XX. Il cunicolo perimetrale, che attraversa il corpo dello sbarramento tra i conchi n°X e XVII, ha dimensioni maggiori (2.20 x 3.00 m) ed ha la funzione di raccogliere le acque di drenaggio e di convogliarle in un pozzetto, situato nel concio n°XIV a quota 6.7 m s.l.m., da cui sono pompate all'esterno. Nel cunicolo perimetrale sono inoltre ubicati gli strumenti di lettura dei pendoli dritti (giunti 13 e 14) ed i piezometri per la misura delle sottopressioni.

In corrispondenza dei giunti tra i conchi che costituiscono il corpo dello sbarramento sono disposti dei pozzi di drenaggio, che, tra i giunti n°4 a 20, scaricano le portate drenate nel cunicolo superiore ed in seguito nel cunicolo perimetrale, al quale essi sono collegati.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

3.3. PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL SERBATOIO (2005)

Il progetto prevedeva alcune modifiche essenziali dello sbarramento che permettevano

- un innalzamento della quota massima di regolazione da 43.00 m s.l.m. a 46.00 m s.l.m.
- un aumento della capacità utile del serbatoio di 10 Mm³
- invariata la quota di massimo invaso attuale pari a 46.50 m s.l.m.

Le opere principali previste erano le seguenti:

- sui conci non tracimabili, un sovrizzo (dH=1 m) e l'allargamento del coronamento per ottenere una carreggiata transitabile (l= 7 m);
- sui conci sfioranti, la demolizione della soglia sfiorante e del ponte sopra di essa, e successivamente la realizzazione di un nuovo coronamento rendendo l'intero sbarramento non tracimabile;
- la modifica dello scarico di alleggerimento sul concio n°V con una paratoia a ventola, al posto dell'esistente a segmento, rialzando la paratoia di circa 6.0 m;
- la realizzazione in sponda sinistra di un nuovo scarico di superficie con paratoie (Q= 3'250 m³/s);
- l'adeguamento del sistema di monitoraggio della diga.

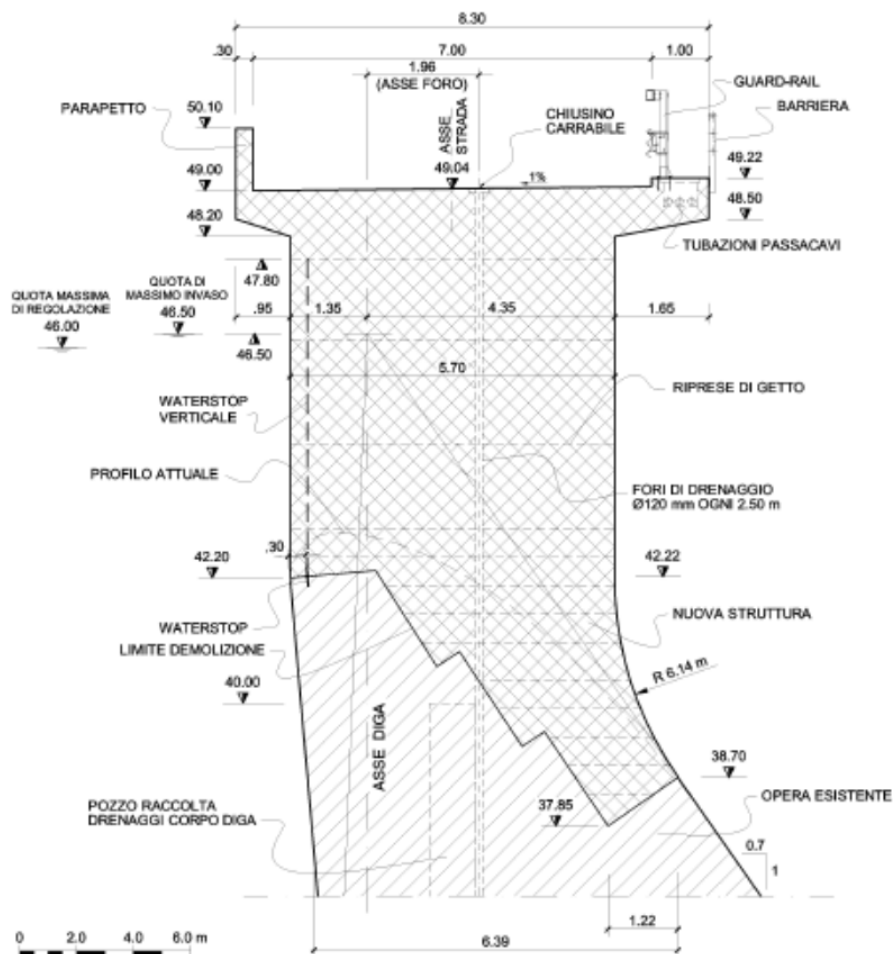


Fig. 3.3 : Dettaglio sovrizzo conci non tracimabili (dal progetto esecutivo, Lombardi et al. 2005)

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Era previsto che la regolazione del livello d'invaso fosse effettuata mediante la ventola, mentre lo smaltimento delle piene di maggiore entità avvenisse tramite lo scarico di superficie principale in sponda sinistra. Lo scarico di fondo svolge invece una funzione di sicurezza, aperto in caso di disfunzione del sistema di scarico principale. La capacità complessiva degli organi di scarico dello sbarramento veniva quindi aumentata da circa 2950 m³/s a circa 3'600 m³/s.

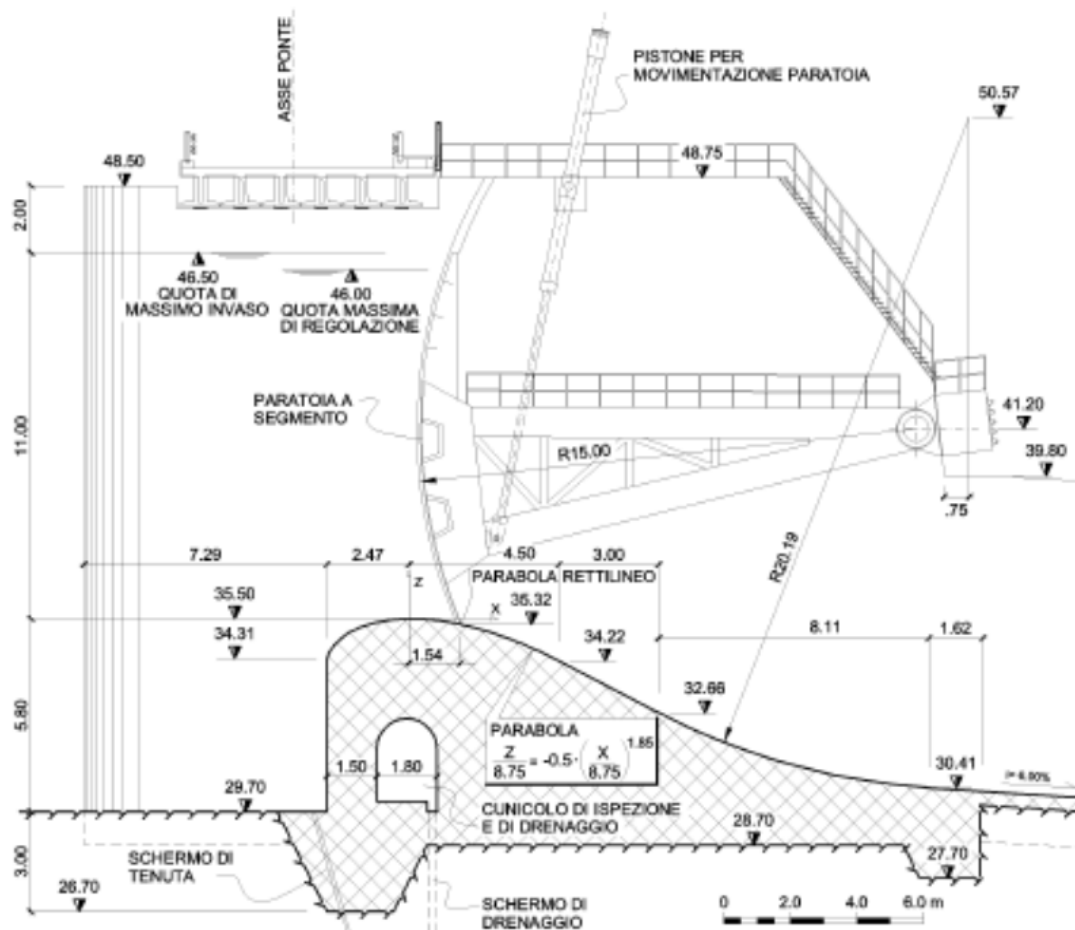


Fig. 3.4 : Scarico di superficie in sponda sinistra (dal progetto esecutivo, Lombardi et. al. 2005)

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

4. STATO DI FATTO

4.1. INTRODUZIONE

Questo capitolo descrive lo stato di fatto della diga, ed in particolare:

- lo stato di realizzazione delle opere di ampliamento previste nel progetto precedente (2005)
- l'attuale piano di laminazione
- lo stato degli schermi di drenaggio ed impermeabilizzazione
- le sottopressioni misurate in fondazione, prima e dopo il nuovo schermo di drenaggio (2004)
- le filtrazioni misurate in fondazione
- la strumentazione attualmente presente in diga

Abbiamo analizzato con particolare attenzione i risultati delle misure di sottopressione e filtrazioni, essenziali sia per le verifiche di stabilità che per definire gli interventi da progettare, confrontando le misure prima e dopo gli interventi dei primi anni 2000 sullo schermo di drenaggio.

4.2. STATO DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI AMPLIAMENTO PREVISTE (2005)

Le opere previste nel progetto di ampliamento del 2005, sul corpo diga, sono state in parte realizzate come descritto qui di seguito ed illustrato nelle foto realizzate nel maggio 2020.



Fig. 4.1 : Configurazione attuale della diga (2020, SP; foto da drone)

La sopraelevazione prevista è stata realizzata per i conci non tracimabili No. II, III e IV (destra) e XX, XXI e XXII (sinistra) con il coronamento a quota 49,04 m s.l.m. (da 48,04 m) ed allargato da 3,0 a 8,3 m.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Rimane da realizzare il sovralzato dei due conci d'estremità, No. I e XXIV.



Fig. 4.2 : Vista dall'alto (SP, maggio 2020, foto da drone)

La soglia sfiorante in cresta diga è stata demolita, insieme alle pile ed alla passerella, e quindi sagomata secondo un profilo provvisorio a gradoni tra le quote 37.85 e 42.30 m s.l.m. Attualmente la luce netta della soglia libera è circa 212 m ed interessa i 14 conci centrali, trascinabili del progetto originario, dal VI al XIX.



Fig. 4.3 : Vista dalla sponda sinistra, ex soglia sfiorante oggi demolita e sagomata a gradoni

Il ciglio è costituito da una soglia piana profonda circa 1,65 m, leggermente risaliente verso valle da 42,20 a 42,30 m s.l.m., circa 0.7 m sotto la quota di sfioro originaria (43,0 m s.l.m.). La gradonatura, che servirà come fondazione dei nuovi getti, è costituita da tre gradini, due da 2,00 x 0,47 m e uno da 2,00 x 1,50 m.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

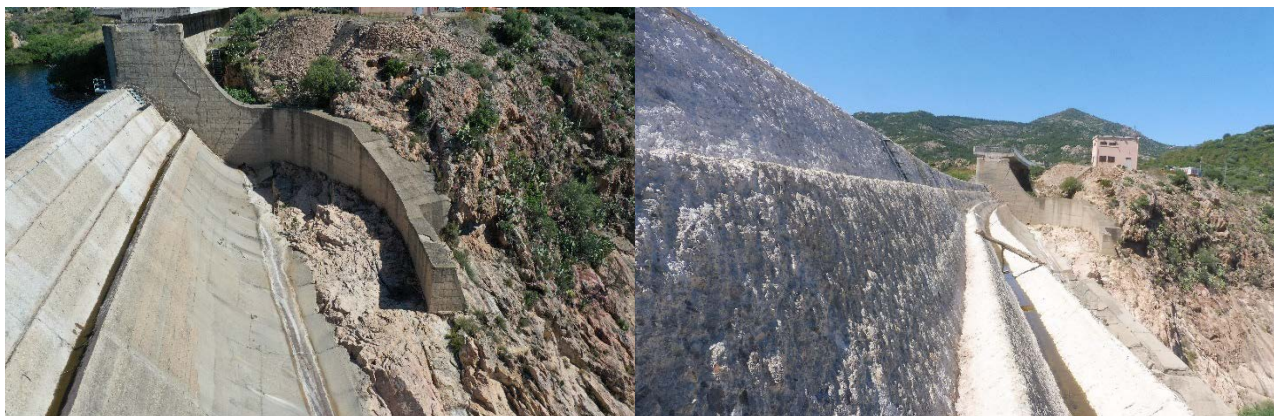


Fig. 4.4 : Conci ex soglia sfiorante, sagomatura a gradoni

Lo scarico di alleggerimento, nel concio V, si trova nella sua configurazione originaria degli anni '60, con soglia a quota 40,50 m s.l.m. e 10 m di luce, munito di paratoia a settore con altezza di ritenuta di 2,50 m, e filo superiore alla quota di massima regolazione originaria (43,00 m slm).



Fig. 4.5 : Scarico di alleggerimento - Vista da monte e da valle dello stato attuale

Come visibile nella foto, anche il coronamento del concio n. V, sul quale ancora non è stato eseguito l'intervento di sopraelevazione ed allargamento già realizzato per i conci non trascinabili di spalla, si trova nella situazione originale.

Sono in fase di completamento i lavori dello scarico di superficie in sponda sinistra, rimasti in gestione al Consorzio di Bonifica della Sardegna Centrale, che ricordiamo non sono oggetto del presente incarico di ingegneria.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA



Fig. 4.6 : Scarico di superficie in sponda sinistra (foto maggio 2020, SP)

Lo scarico principale effettivo è quindi, ad oggi, costituito dalla soglia sfiorante in coronamento diga illustrata in precedenza. Gli scarichi di alleggerimento e di fondo completano il quadro degli scarichi disponibili. La scala di deflusso del ciglio diga nelle condizioni attuali è riportata nel grafico seguente.

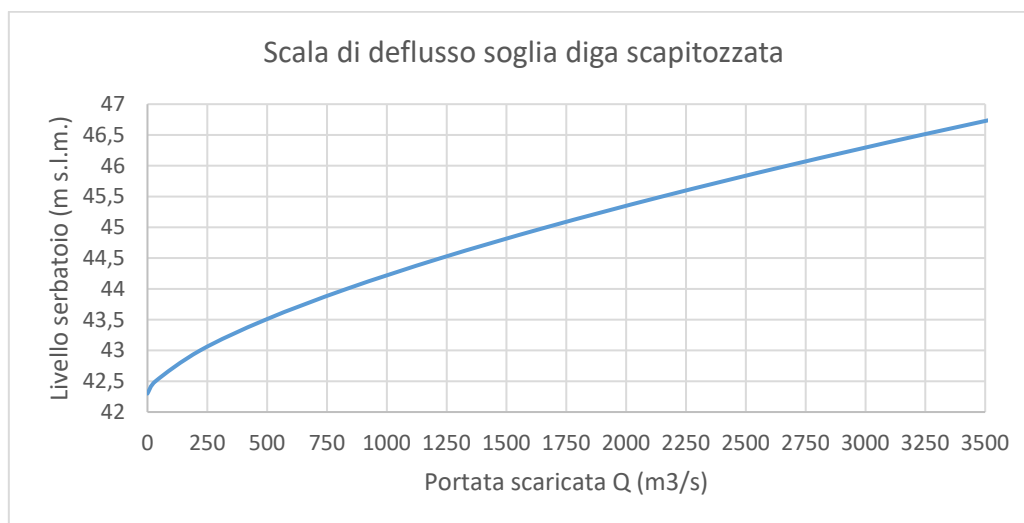


Fig. 4.7 : Scala di deflusso della diga, condizioni attuali (da rel. Prof Ravaglioli, 2017)

4.3. PIANO DI LAMINAZIONE ATTUALE

In seguito all'evento di piena del 2013, la Regione Sardegna con delibera G.R. n.23/1 del 9.05.2017 ha approvato il Piano di Laminazione statica preventivo dell'invaso, definito sulla base dello studio predisposto dal DICAAR, tenendo conto dell'attuale configurazione della diga di sbarramento e degli organi accessori.

Pertanto, attualmente il serbatoio è soggetto a limitazioni dei livelli stagionali di massima regolazione, per esigenze di sicurezza idraulica delle aree abitate a valle dello sbarramento, di seguito riportate:

 RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Mese	Quota	Volume d'invaso	Volume utile di regolazione
Ottobre	35 m s.l.m.	9.9 Mm ³	7.1 Mm ³
Novembre			
Dicembre			
Gennaio			
Febbraio	38 m s.l.m.	15.0 Mm ³	12.2 Mm ³
Marzo	40.5 m s.l.m.	20.4 Mm ³	17.6 Mm ³
Aprile	42.3 m s.l.m.	24.9 Mm ³	22.1 Mm ³
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			

Fig. 4.8 : Limitazioni dei livelli di massima regolazione

4.4. SCHERMI DI IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO

SCHERMO DI IMPERMEABILIZZAZIONE

In fase di costruzione, negli anni 60, è stato realizzato un doppio schermo di iniezioni, con fori disposti a distanza di 5 m l'uno dall'altro ed a quinconce. La prima fila è stata posizionata alla distanza di 0,50 m dal paramento di monte e la seconda fila a 2,0 m. Le perforazioni eseguite verticali hanno raggiunto una profondità variabile tra i 15 m e i 20 m sulle sponde e 40 m in corrispondenza dei conci centrali della diga.

Per limitare l'entità delle sottopressioni derivanti dalla presenza del carico idrostatico determinato dalla retrodiga e dalle piene del fiume, un ulteriore schermo d'iniezioni con fori a distanza di 5 m e per una profondità di 15-20 m fu realizzato in corrispondenza dell'unghia di valle dei conci centrali dal XII al XIV. Nei conci dal XV al XVII fu impossibile eseguire le iniezioni per il rinvenimento di "marmitte", che sono state tamponate e iniettate subito dopo i lavori di scavo.

Furono inoltre previste iniezioni di cucitura del corpo diga allo schermo, eseguite dal paramento di monte con fori disposti ad interasse di 1,25 m ed a valle con fori disposti ad interasse di 2,50 m, entrambi spinti fino a 5,00 m di profondità nella roccia.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

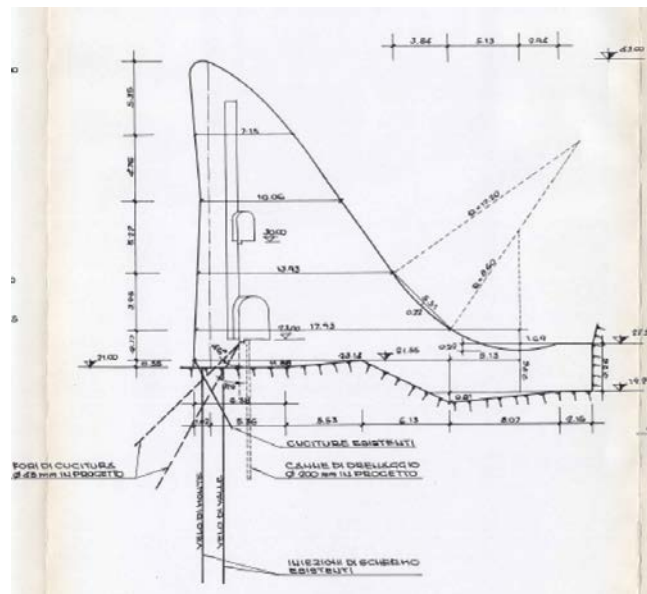


Fig. 4.9 : Sezione tipo con doppio schermo di monte e cuciture (da Prog. Esec. Tomasi, 2001)

A seguito di una analisi dei dati elevati di sottopressioni riscontrate nei conci traccimabili, si ritenne necessario un intervento inteso a migliorare la tenuta della superficie di contatto calcestruzzo-roccia al piede di monte e di un primo strato della roccia a suo tempo iniettata con lo schermo di impermeabilizzazione e le iniezioni di cucitura. Pertanto, con il progetto del 2001 dell'ing. Tomasi, si è realizzato un intervento di integrazione delle cuciture ed un efficiente schermo di drenaggio in fondazione.

Le nuove cuciture, eseguite dal cunicolo inferiore con orientazione variabile, sono su doppia fila a distanza di 2 m l'una dall'altra e disposte a quinconce, perforate in roccia per una profondità di circa 8 m per i fori di monte e di 10,00 m per i fori di valle.

SCHERMO DI DRENAGGIO IN FONDAZIONE

Il sistema di drenaggio in fondazione, previsto in fase di costruzione, è stato realizzato solo parzialmente ed è quindi risultato essere inefficace ad abbattere le sottopressioni.

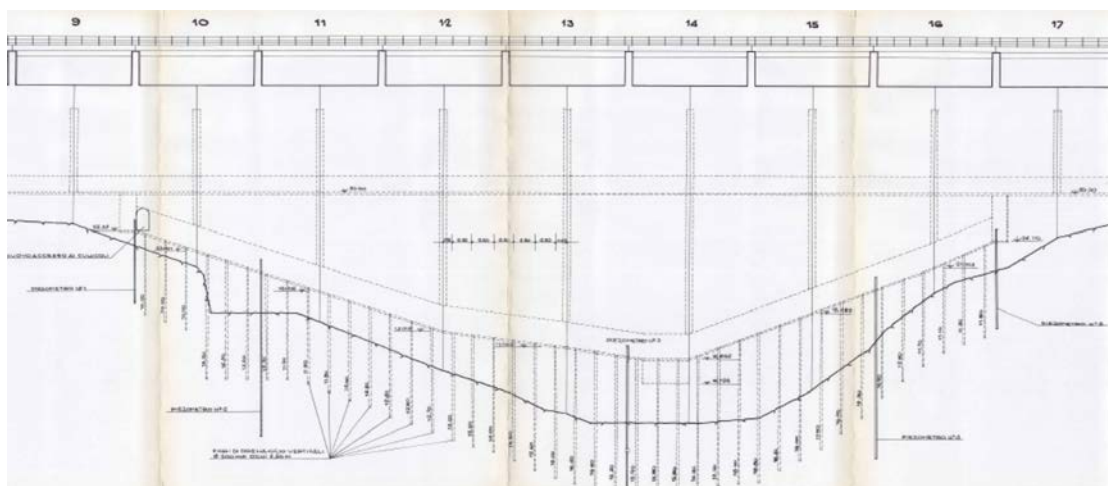


Fig. 4.10 : Profilo con schermo di drenaggio e piezometri (Prog. Es. Tomasi 2001)

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Come detto, il progetto del 2001 dell'ing. Tomasi ha introdotto un nuovo schermo di drenaggio in fondazione nei conci più profondi, la cui realizzazione è stata ultimata nel 2005. Tale schermo è costituito da canne D=200 mm passo 2.5 m perforate in roccia per circa 8 m, sotto tutto il cunicolo inferiore.

Nello "Studio sulle condizioni di sicurezza della diga di Maccheronis" svolto dal MIT nel 2006 viene riportato che *"il regime di filtrazione presente è correlato al livello del serbatoio e al livello naturale del fiume a valle; le portate filtranti sono di modestissima entità (dell'ordine di 2 -3 l/s comprese le perdite dalla diga, valori massimi registrati 5 l/s). Viste le caratteristiche dell'ammasso di fondazione e sulla base delle misure di pressione interstiziale in corrispondenza di una serie di perforazioni e delle misure di controllo speditive della torbidità, si conferma la regolarità della rete idrodinamica nella roccia di fondazione della diga di Maccheronis e si esclude la presenza di fenomeni di erosione lungo la sezione di imposta della diga"*.

SCHERMO DI DRENAGGIO IN CORPO DIGA

Non sono presenti canne drenanti nel corpo diga.

In sostituzione di normali schermi drenanti, in corrispondenza delle superfici di ripresa di getto, durante la costruzione della diga, sono state disposte strisce longitudinali drenanti di pietrame a secco ricoperte di carta per evitare che fossero legate al getto sovrastante. Le estremità di tali filari avevano inizio e termine nei pozzi ascendenti in corrispondenza dei giunti della diga. Questo sistema di drenaggio in corpo diga è poco efficace ed, in ogni caso, non affidabile.

In corrispondenza dei giunti tra i conci sono disposti dei pozzi verticali con D=800 mm (quasi tutti interessati da filtrazioni e perdite) che dalla vecchia cresta diga recapitano le acque nel cunicolo superiore e poi in quello perimetrale. Le perdite sono convogliate in una vasca posta nel punto più depresso del cunicolo (circa a quota 6.7 m s.l.m.) e vengono allontanate mediante un sistema di pompaggio che le scarica a valle mediante una tubazione in pvc direttamente lungo il paramento di valle della diga. I pozzi nei conci di spalla, dove non arriva il cunicolo superiore, scaricano direttamente sulle sponde.

4.5. SOTTOPRESSIONI

Durante la costruzione della diga furono installati 5 piezometri sulla parete di valle del cunicolo perimetrale di ispezione, nella mezzeria dei conci n° X, XI, XIV, XVI e XVII, e costituiti da tubi metallici collegati a perforazioni di drenaggio approfondite in roccia per circa 15 m, distanti 4,50 m circa dall'asse della diga, che consentono di misurare la pressione idrostatica in fondazione a mezzo di manometri montati su di essi.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Le misure di sottopressioni effettuate nel periodo 1997-99, erano molto superiori a quanto previsto in progetto, ed in particolare, esaminando la percentuale rispetto al carico idrostatico a monte della diga (ref. [1] del 2001, Tomasi), erano circa nei range seguenti:

- 65-80 % No. 2
- 55-80 % No. 3
- 30-65 % No. 1, No. 4

In mancanza di uno schermo di drenaggio efficace in fondazione, l'andamento delle sottopressioni nelle fondazioni, da monte a valle, dovrebbe corrispondere ad un diagramma circa triangolare. Per le sezioni in alveo, ad esempio per il concio XIV che ospita il piezometro n°3, bisogna considerare il carico idrostatico di valle causato dalla retrodiga, con quota acqua più o meno costante 12,00 m s.l.m..



Fig. 4.11 : Retrodiga in alveo, a valle della diga (foto SP, 2020)

Come detto, nei primi anni 2000 è stato realizzato lo schermo di drenaggio in fondazione, ultimato nel 2005.

Abbiamo quindi analizzato la serie storica dei dati misurati ai 5 piezometri:

- dal 1997 al 2020, per i piezometri No. 1,2,3
- dal 1997 al 2004, per i piezometri No. 4 e 5

Per quanto ci risulta, non ci sono dati significativi misurati ai piezometri No. 4 e No. 5 dopo il 2004.

Le sottopressioni medie annue al piezometro No. 1 (concio X) illustrate nella figura seguente, sono nei seguenti range, rispettivamente prima e dopo la realizzazione dello schermo di drenaggio:

- 40-50 % 1997-2005
- 20-35 % 2006-2020

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

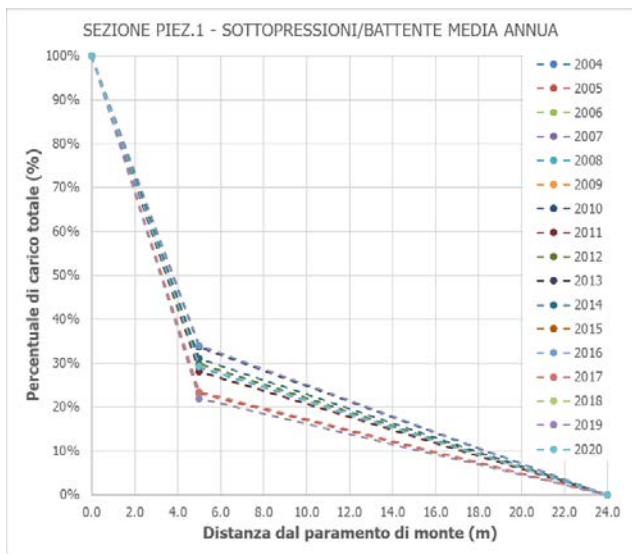
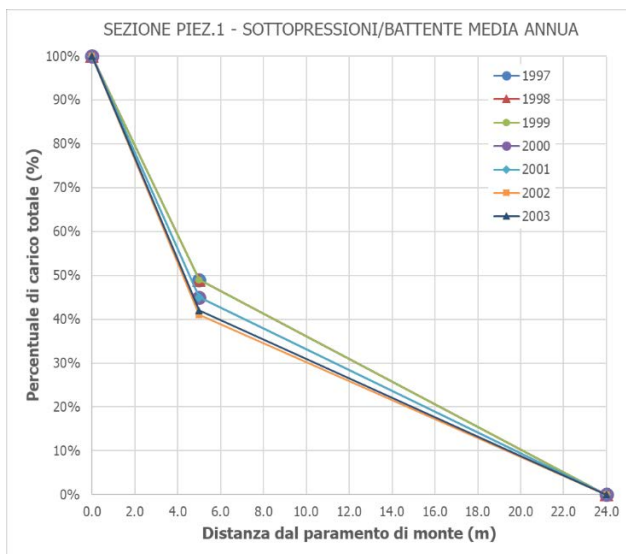
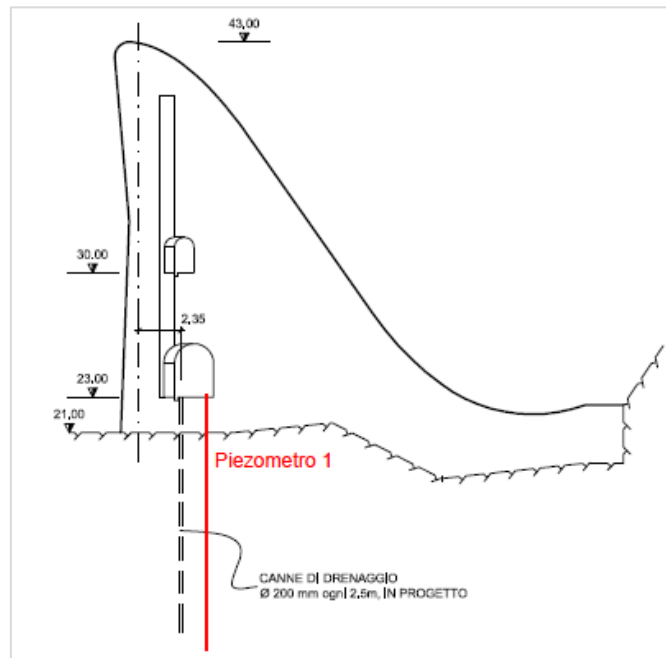


Fig. 4.12 : Sezione tipo concio X (figura in alto)
 sottopressioni al piezometro 1 (in basso), fino al 2004 (sinistra) , dal 2004 ad oggi (destra)

La riduzione ottenuta è quindi consistente, e le pressioni misurate sono oggi in linea con i limiti massimi normali suggeriti dalle normative.

Le sottopressioni medie annue al piezometro No. 2 (concio XI), illustrate nella figura qui di seguito. sono nei range approssimati:

- 53-65 % 1997-2005
- 33-40 % 2006-2020

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

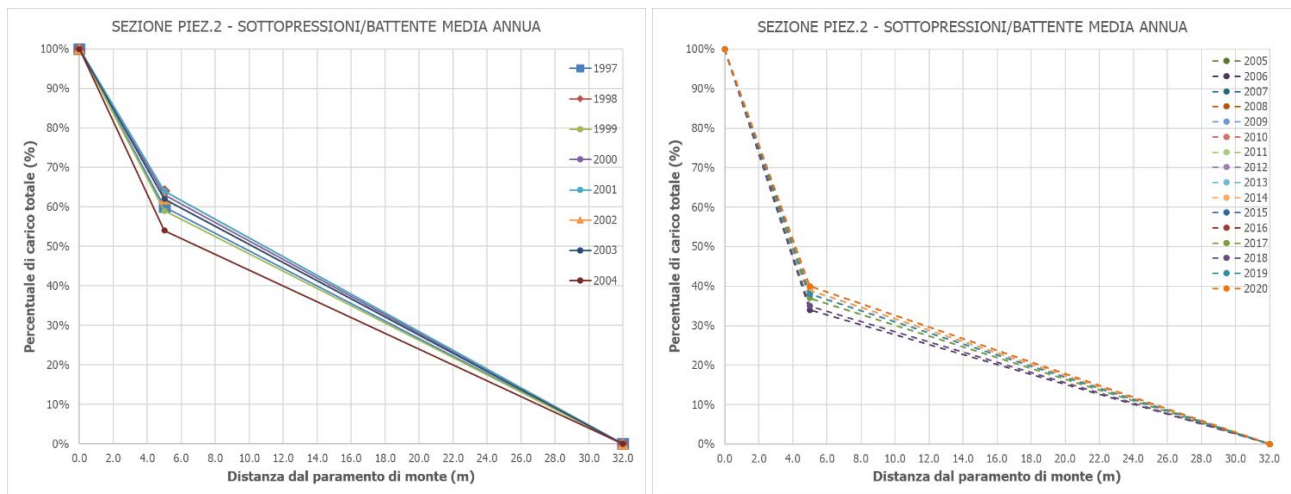


Fig. 4.13 : Sottopressioni al piezometro 2 prima e dopo la realizzazione dei drenaggi in fondazione

La riduzione ottenuta è quindi consistente, tuttavia le pressioni misurate sono oggi in linea con i limiti normali suggeriti dalle normative o leggermente superiori. E' quindi opportuno prevedere un miglioramento sistema di drenaggio, riducendo le sottopressioni.

Il concio XIV, che ospita il piezometro n°3, presenta un piano di fondazione circa 10 m più profondo del livello dell'acqua a valle alla controdiga (z_{wat} 12 m s.l.m.). Le sottopressioni medie annue, espresse come rapporto tra quanto misurato ed il carico a monte, considerato la pressione di valle, sono illustrate nella figura successiva e sono nei range approssimati:

- 60-75 % 1997-2004
- 18-35 % 2005-2020

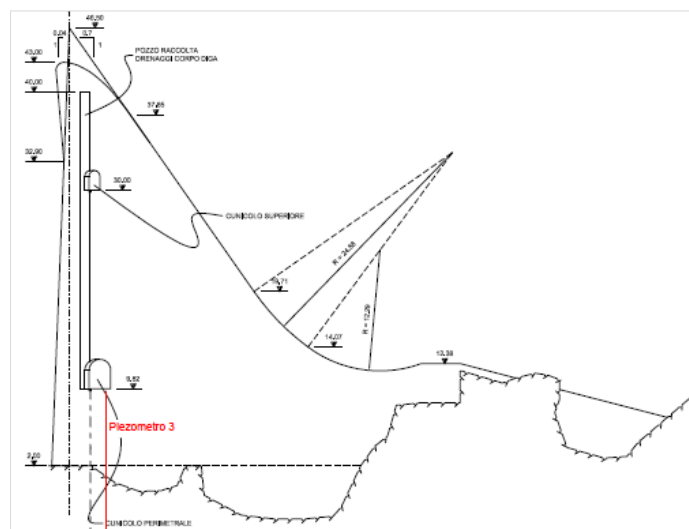


Fig. 4.14 : Sezione tipo concio XIV, andamento sottopressioni al piezometro 3

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

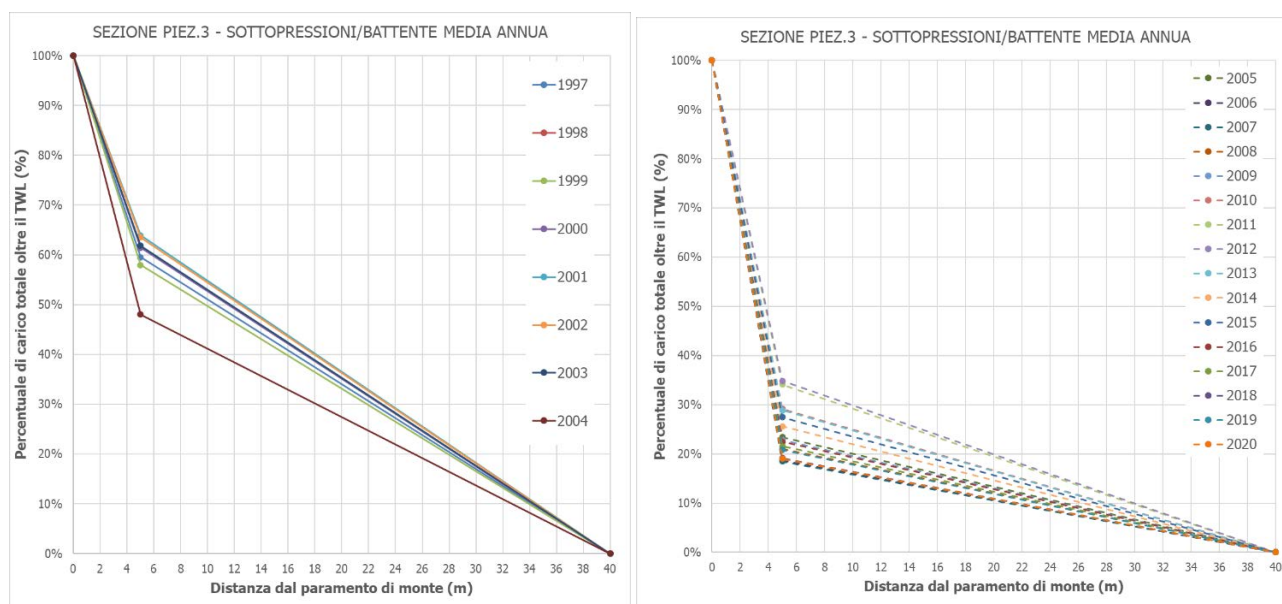


Fig. 4.15 : Sottopressioni al piezometro 3 prima e dopo la realizzazione dei drenaggi in fondazione

La riduzione ottenuta è quindi consistente, e le pressioni misurate sono oggi in linea con i limiti massimi normali suggeriti dalle normative. E' comunque ragionevole prevedere un'ulteriore riduzione delle sottopressioni, per garantire margini di sicurezza più ampi che siano quindi affidabili anche nel medio periodo.

Per i conci XVI e XVII, non si hanno dati sufficienti ai piezometri 4 e 5 dopo la realizzazione dello schermo per confermare l'andamento recente delle sottopressioni.

La costruzione dello schermo di drenaggio, ultimato nel 2005, ha certamente portato una significativa riduzione delle sottopressioni. Le sottopressioni misurate ai piezometri No. 1 e No. 2 e No. 3 sono quasi sempre inferiori al limite normalmente accettato pari al 35 % del carico idrostatico a monte, considerando dove necessario la contropinta a valle, con l'eccezione di alcuni anni del piezometro No. 2.

Possiamo quindi concludere che, dai dati disponibili, lo schermo di drenaggio appare efficace.

Tuttavia, è necessario osservare che il numero modesto di piezometri in esercizio non consente di avere certezze sull'efficacia di tutto lo schermo, sotto ogni concio, ed i valori ottenuti sono per alcuni anni molto prossimi ai limiti suggeriti dalla normativa, ed in qualche occasione li hanno superati.

E' quindi necessario prima di tutto un intervento di ripristino ed ampliamento di piezometri in particolare in alveo e in spalla sinistra, già previsto nel progetto di ampliamento del 2005.

Inoltre, è opportuno prevedere un intervento di manutenzione straordinaria e di ampliamento dello schermo di drenaggio in fondazione.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

4.6. FILTRAZIONI IN FONDAZIONE

Qui di seguito riportiamo le perdite totali misurate dal dicembre 2008 a marzo 2020.

L'andamento è regolare e correlato al livello del serbatoio. Le perdite totali sono modeste, dell'ordine di

- 0-3 l/s in media
- 7 l/s picco, nel 2018

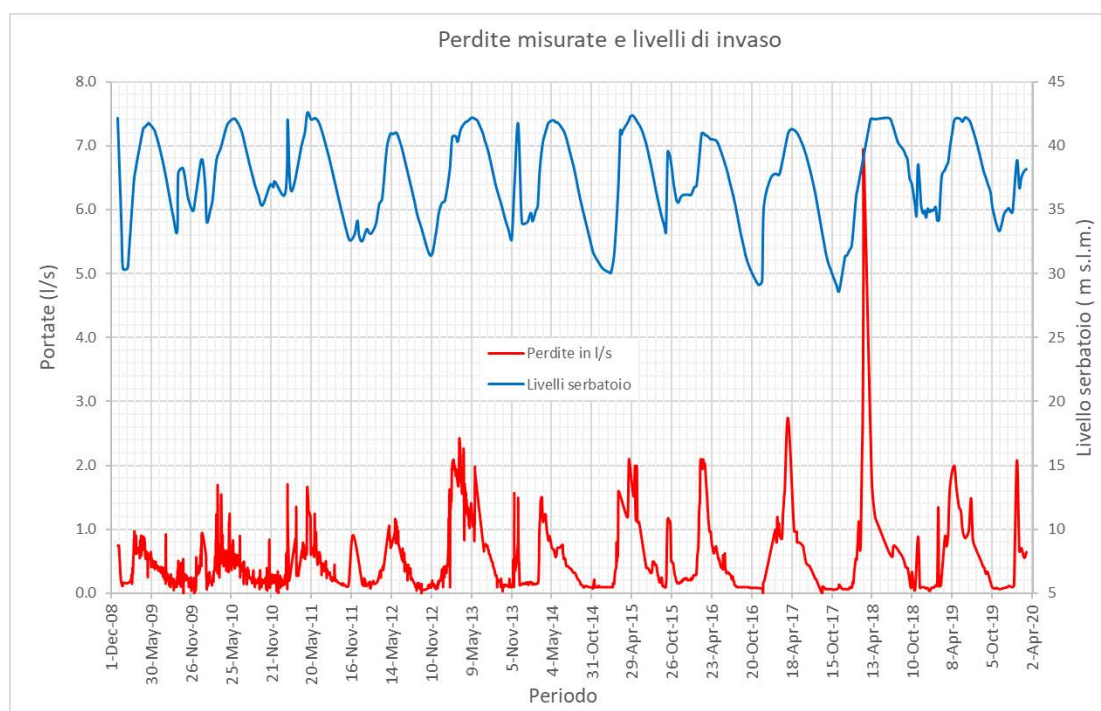


Fig. 4.16 : Diagramma Perdite-Livelli serbatoio da serie storica a disposizione

Durante l'ispezione non sono state osservate perdite significative attraverso il corpo diga, tuttavia tracce di filtrazione ed effluorescenze sono visibili sul paramento di valle dei conci traccimabili.

Filtrazioni visibili sono state individuate nei blocchi di destra, in particolare nei conci VI, VII, e X.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA



Fig. 4.17 : Filtrazioni visibili in sponda destra, conci VI, VII e X

Efflorescenze sono visibili in diversi punti, tra cui i più rilevanti e maggiormente visibili sono situati nel concio VIII, dove il fenomeno è esteso a gran parte del paramento, e nei conci XIV e XV, dove è invece localizzato come mostrato nelle immagini seguenti.



Fig. 4.18 : Fenomeni di efflorescenza sul paramento di valle (conci VII e XIV e XV)

4.7. STRUMENTAZIONE

Il sistema di monitoraggio originale, integrato da alcuni interventi previsti con il Progetto Esecutivo del 2005, prevede cinque tipi di misure:

- Misure di spostamento del coronamento nel senso monte-valle
- Misure di spostamenti relativi tra coronamento e fondazioni
- Misure di sottopressione
- Misure di filtrazione
- Misura di temperatura

Le misure di spostamento monte-valle del coronamento vengono effettuate mediante misure di allineamento con collimatore e mire. Con questo sistema, essendo la diga leggermente arcuata, è possibile controllare i soli spostamenti orizzontali di tre conci e precisamente il VII, il XIII e il XVII.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Prima dell'inizio dei lavori di ampliamento dell'invaso (2007), venivano effettuate periodiche misure di collimazione al coronamento che da allora, vista la demolizione dello stesso, non si è potuto più effettuare.

Le misure di spostamento relativo tra coronamento e cunicolo inferiore vengono effettuate con due pendoli diritti ubicati nei pozzi sui giunti 14 e 15 tramite telecoordinometri che consentono la lettura in continuo degli spostamenti direttamente nella casa di guardia.

Le misure di sottopressione vengono effettuate su cinque piezometri disposti lungo il cunicolo inferiore di cui 2 non sono più attivi da più di 15 anni (piezometro 4 e 5). La lettura, inizialmente fatta direttamente su manometri installati sul boccaforo, è ora prevista mediante trasduttori che inviano il segnale in casa di guardia.

Le misure di filtrazione sono di tipo globale in quanto sono ricavabili dall'andamento dei livelli del pozzetto di raccolta dei drenaggi aggettato da due pompe con funzionamento intermittente.

A integrazione del sistema, sono già state inserite due vaschette con stramazzo per la misura delle portate provenienti dalla spalla destra e da quella sinistra. La lettura dei livelli nei pozzetti, eseguita con trasduttori, viene trasmessa nella casa di guardia.

Infine, è presente una stazione meteo per la misura della temperatura dell'aria, precipitazioni, irradiazione solare, umidità relativa, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento.

In sintesi, i seguenti strumenti sono attualmente installati:

- No. 2 pendoli diritti concetti XIV e XV;
- No. 5 piezometri in fondazione, di cui 2 non attivi; concetti X, XI, XIV XVI e XVII;
- No. 2 stramazzi su canaletta; concetti XIV;
- No. 1 stazione meteo

Alcuni degli strumenti previsti per monitorare il funzionamento della diga non sono ad oggi presenti, ricordiamo i seguenti. Le misure di temperatura dell'acqua erano previste mediante termometri disposti in acqua a due quote fisse: 14 e 36 m s.l.m. con termometri elettrici protetti in tubazione, mentre la misura delle quote d'invaso era prevista tramite due bilance idrostatiche poste una nella camera di manovra dello scarico di fondo, l'altra nel concio XI, per la misura fine dei livelli d'invaso. Per permettere la misura delle temperature nel corpo diga, secondo quanto previsto nel Progetto 2005, era indicato in un singolo concio preso fra i più alti (il XIV) un sistema di n°8 termometri elettrici con trasmissione delle letture nella casa di guardia.

4.8. OSSERVAZIONI VARIE EFFETTUATE IN FASE DI SOPRALLUOGO

SCARICO DI ALLEGGERIMENTO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Sulle pareti laterali interne della struttura si sono evidenziate zone con rigonfiamento dei calcestruzzi, esposizione puntuale di ferri d'armatura e limitate aree ammalorate.

La paratoia a settore presenta un avanzato grado di corrosione e la non perfetta tenuta idraulica della battuta sulla soglia. Attualmente la paratoia è movimentata da impianto elettrico provvisorio in quanto il sistema preesistente a galleggianti non è in funzione da diversi anni.

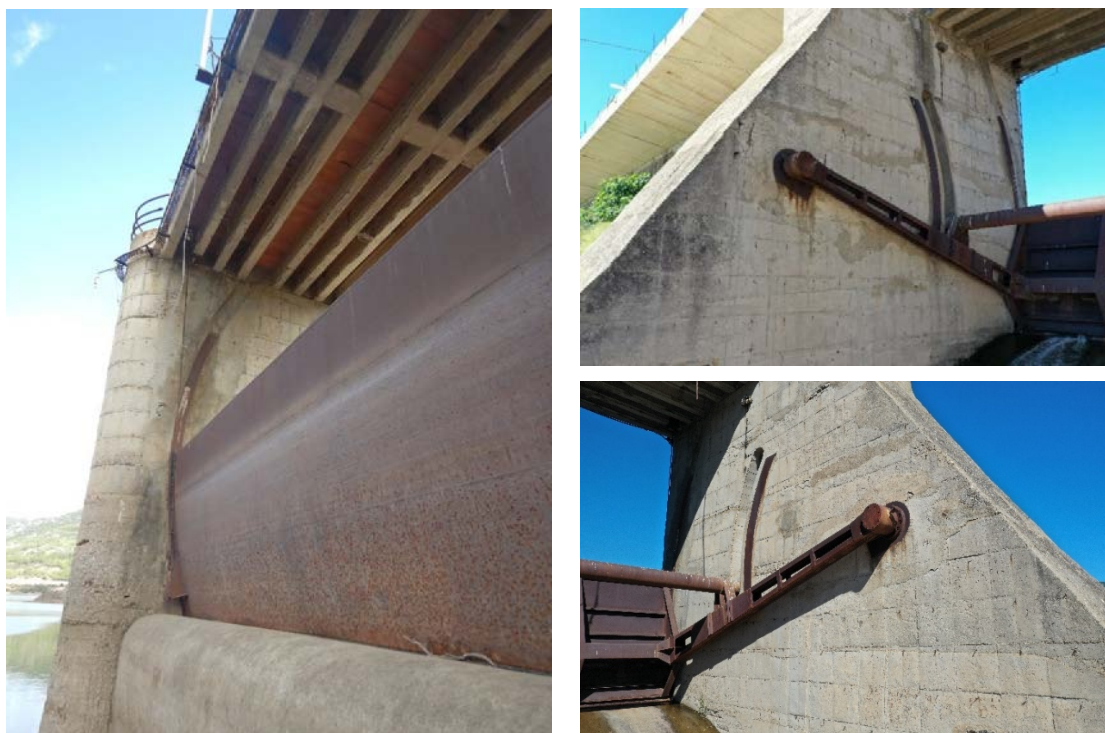


Fig. 4.19 : Particolari dello scarico di alleggerimento

OSSERVAZIONI E MISURE SULLO STATO DEI CALCESTRUZZI

Considerando l'età della diga e la natura degli interventi progettuali, che prevede di intervenire sulla struttura esistente ed in particolare di innestare nuove opere su calcestruzzi datati, si è ritenuto necessario innanzitutto effettuare subito in questa prima fase la verifica preliminare della qualità dei calcestruzzi in situ con metodi non distruttivi.

Durante il sopralluogo, i nostri specialisti hanno utilizzato, insieme al classico martello di Schmidt (sclerometro), alcune tecnologie innovative ed avanzate disponibili con lo strumento multifunzione OLSON – NDE 360, particolarmente utile per le indagini preliminari sui calcestruzzi esistenti in quanto consente di fare nove indagini diverse (tra cui impact echo, UPV, SASW, etc.). L'NDE360-Olson è infatti uno strumento all'avanguardia, che ha permesso di effettuare durante l'ispezione le prime prove di misura delle Velocità di impulsi ultrasonici (UPV), per avere indicazioni sulle caratteristiche e sullo stato dei calcestruzzi in situ.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Il metodo UPV si basa sulla misura della velocità e dell'ampiezza di un impulso d'onda compressiva e viene utilizzato per determinare le condizioni di velocità e integrità del calcestruzzo, e identificare e mappare i vuoti, i vespai, le crepe, le delaminazioni, e altri danni.

Le prove effettuate comprendono alcuni punti di misura in cresta diga, al piede di valle della diga (ove accessibile), sui muri e lo scivolo dello scarico di alleggerimento come visibile nelle foto qui di seguito. In totale, le caratteristiche dei calcestruzzi sono state misurate in No. 12 punti, come illustrato qui di seguito.

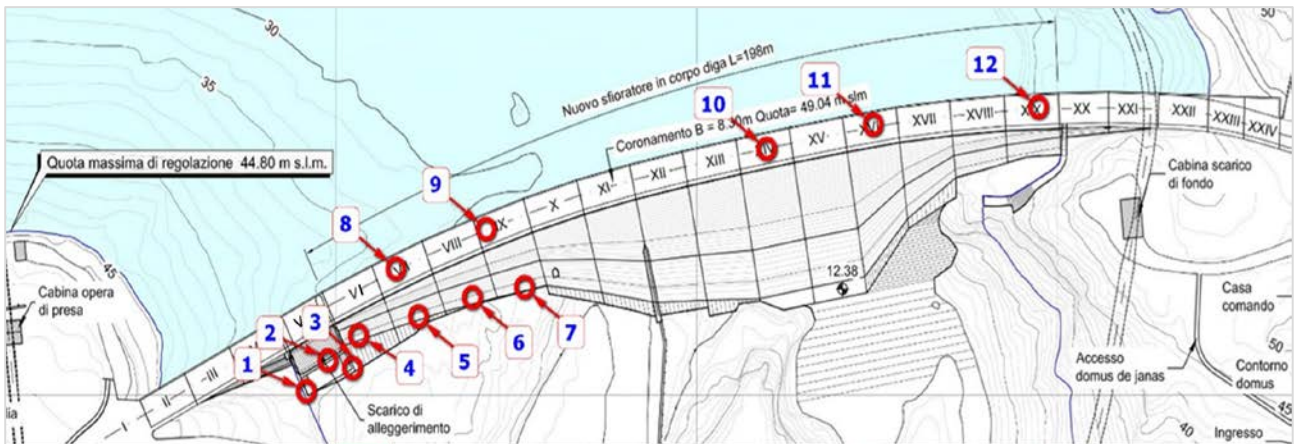


Fig. 4.20 : Pianta, ubicazione delle prove in situ sui calcestruzzi



Fig. 4.21 : Indagini con lo sclerometro (a sinistra), indagini SASW (a destra)

La tabella seguente sono riportati i risultati delle prove effettuate con lo sclerometro nei 12 punti.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Prova	Concio	Orientamento	Rebound R										Media	Note
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
SCL 1	V	Orizzontale	38	35	34	38	34	36	40	35	37	33	36	Parete interna spalla destra scarico di alleggerimento
SCL 2	V	Verticale	35	38	40	34	43	38	45	40	32	36	38	Pavimentazione dello scarico di alleggerimento sul lato sinistro
SCL 3	V	Orizzontale	40	37	30	45	34	38	40	40	41	43	39	Parete interna spalla sinistra scarico di alleggerimento
SCL 4	VI	45°	22	30	22	25	38	23	26	27	35	26	27	Al piede del paramento di valle
SCL 5	VII	60°	28	25	19	24	22	25	34	30	25	26	26	Al piede del paramento di valle
SCL 6	VIII	Verticale	25	22	23	35	33	37	34	35	37	32	31	Al piede del paramento di valle
SCL 7	IX	Verticale	42	32	30	28	30	34	33	32	33	43	34	Al piede del paramento di valle
SCL 8	VII	Verticale	42	30	30	25	36	46	29	34	28	29	33	Sul gradino più alto del coronamento
SCL 9	IX	Verticale	46	36	39	34	37	38	42	38	32	38	38	Sul gradino più alto del coronamento
SCL 10	XIV	Verticale	40	40	38	35	35	35	30	43	38	41	38	Sul gradino più alto del coronamento
SCL 11	XVI	Verticale	30	37	30	37	30	43	40	32	40	42	36	Sul gradino più alto del coronamento
SCL 12	XIX	Verticale	32	38	30	40	31	43	33	40	38	50	38	Sul gradino più alto del coronamento

Fig. 4.22 : Prove sclerometriche (SP, 2020)

I risultati ottenuti indicano che le caratteristiche dei calcestruzzi sono, nel complesso, omogenee. Si nota un peggioramento dei risultati nei punti No. 4 e No.5 situati al piede di valle dei conci tracicabili Vi e VII (vedi foto), come prevedibile. In tali conci tra l'altro sono stati individuati i maggiori trafileamenti dal paramento di valle. Questo dato potrebbe essere dovuto al fatto che, come suggerito dai tecnici Enas, nella costruzione di questi conci sia stato utilizzato un calcestruzzo con caratteristiche inferiori rispetto al resto della diga.

Nelle stesse posizioni viste sopra, sono state effettuate le prove UPV (Ultrasonic Pulse Velocity). Qui di seguito si riporta, come esempio, la restituzione sotto forma di grafico dell'andamento di un ultrasonica misurata.

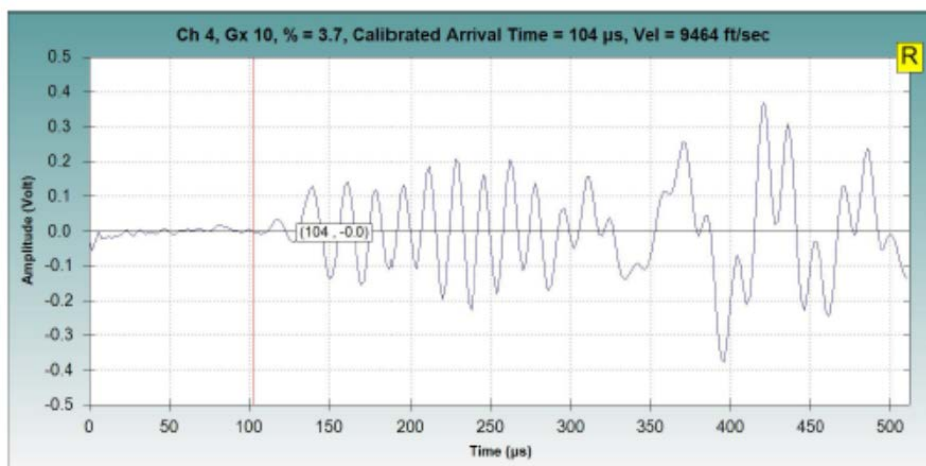


Fig. 4.23 : Indagini UPV – Concio IX al piede (pos.7)

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle prove UPV effettuate con lo strumento Olson NDE360.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Prova	Concio	Thickness	Arrival Time	Velocity	Velocity	Note
		(cm)	(μ s)	(ft/sec)	(m/sec)	
UPV1	V	30	94	10471	3191	Parete interna spalla destra scarico di alleggerimento
UPV2	V	30	98	10043	3061	Pavimentazione dello scarico di alleggerimento sul lato sinistro
UPV3	V	30	100	9842	3000	Parete interna spalla sinistra scarico di alleggerimento
UPV4	VI	30	100	9842	3000	Al piede del paramento di valle
UPV5	VII	30	104	9'464	2'884	Al piede del paramento di valle
UPV6	VIII	30	102	9'650	2'941	Al piede del paramento di valle
UPV7	IX	30	104	9'464	2'884	Al piede del paramento di valle
UPV8	VII	30	104	9'464	2'884	Sul gradino più alto del coronamento
UPV9	IX	30	102	9'650	2'941	Sul gradino più alto del coronamento
UPV10	XIV	30	102	9'650	2'941	Sul gradino più alto del coronamento
UPV11	XVI	30	100	9'842	3'000	Sul gradino più alto del coronamento
UPV12	XIX	30	100	9'842	3'000	Sul gradino più alto del coronamento

Fig. 4.24 : Risultati prove UPV (SP, 2020)

I valori di velocità ottenuti sono uniformi fra loro, confermando quindi i risultati generali ottenuti attraverso lo sclerometro. Diversamente da questo, nei punti No. 4 e No.5 non si osserva una riduzione della resistenza, probabilmente a causa del diverso volume di calcestruzzo interessato dalla prova, con lo sclerometro più influenzato dalle caratteristiche più superficiali.

Le correlazioni empiriche concrete, disponibili in bibliografia, danno una stima preliminare delle caratteristiche di resistenza del materiale. Nella seguente tabella sono riportate le correlazioni tra la velocità dell'impulso e la resistenza del calcestruzzo indicate in letteratura (Zocca, Di Lena, 1986).

Velocità dell'impulso m/s	Resistenza stimata del calcestruzzo Mpa
< 2400	< 15
2400 – 3000	15 – 20
3000 – 3600	20 – 25
3600 – 4200	25 – 30
> 4200	> 30

Fig. 4.25 : Correlazione risultati UPV e resistenze del calcestruzzo

Dalle correlazioni, le caratteristiche del calcestruzzo superficiale possono ritenersi discrete con resistenze comprese tra circa 18 e 22 N/mm².

I dati ottenuti sono quindi utili specialmente come confronto tra le varie zone della diga, per individuare quelle più critiche, e per questo aspetto i dati di sclerometro e UPV sono omogenei. Ricordiamo che i valori assoluti di resistenza sono approssimati, e che per migliorarne la precisione devono essere poi calibrati con prove di laboratorio.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

5. INTERVENTO DI COMPLETAMENTO DEI LAVORI DI AMPLIAMENTO

5.1. GENERALE

Il presente incarico ha come oggetto il completamento dei lavori di ampliamento del serbatoio di Maccheronis, ed in particolare dei lavori in corpo diga. Le opere di completamento dello sfioratore in sponda sinistra, in costruzione, sono oggetto di altro incarico.

I lavori di ampliamento furono definiti nel 2005, attraverso un progetto esecutivo (Lombardi et al.) e solo in parte realizzati negli anni successivi. In seguito ai noti eventi di piena eccezionali avvenuti negli anni scorsi, le piene di progetto sono state rivalutate ed è quindi oggi necessario aggiornare il progetto di ampliamento del 2005 per garantire il deflusso della nuova piena millenaria.

Le opere principali previste in questo progetto di completamento sono:

- Realizzazione di una nuova soglia sfiorante in corpo diga, con portata di progetto pari a 936 m³/s, impostata sul profilo attuale del coronamento e compresa di passerella;
- Completamento dell'innalzamento dei conci emergenti della diga, sui conci di estremità;
- Realizzazione di drenaggi in corpo diga;
- Adeguamento del sistema di monitoraggio e strumentazione;
- Sostituzione della paratoia dello scarico di alleggerimento con paratoia a ventola di maggior altezza;

Insieme alle opere principali sopra elencate, in fase di progetto definitivo potranno essere definiti alcuni interventi di manutenzione straordinaria, tra quelli più urgenti, quali la manutenzione dei drenaggi in fondazione e, ove necessario, di calcestruzzi quali quelli dello scarico di alleggerimento.

5.2. CARATTERISTICHE DELLE OPERE (STATO FINALE)

I dati caratteristici dell'opera, nello stato finale, sono illustrati sinteticamente in questa sezione.

SERBATOIO

Il bacino imbrifero, che ha un'estensione di 615 km² alla sezione di Maccheronis, serve il serbatoio che possiede le caratteristiche illustrate nella tabella seguente e nella successiva curva aree-volumi:

- | | | | |
|---|---|---------|-----------------|
| • | Quota di massimo invaso (a opere concluse) | 46.50 | m s.l.m. |
| • | Quota massima di regolazione | 44.80 | m s.l.m. |
| • | Quota minima di regolazione | 27.90 | m s.l.m. |
| • | Quota alveo originale | ca 14.7 | m s.l.m. |
| • | Volume totale di invaso (a 46.5 m s.l.m.) | 38 | Mm ³ |
| • | Volume utile (a 44.80 m s.l.m.) | 32.3 | Mm ³ |
| • | Volume residuo (a 27.9 m s.l.m.) | 2.8 | Mm ³ |

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

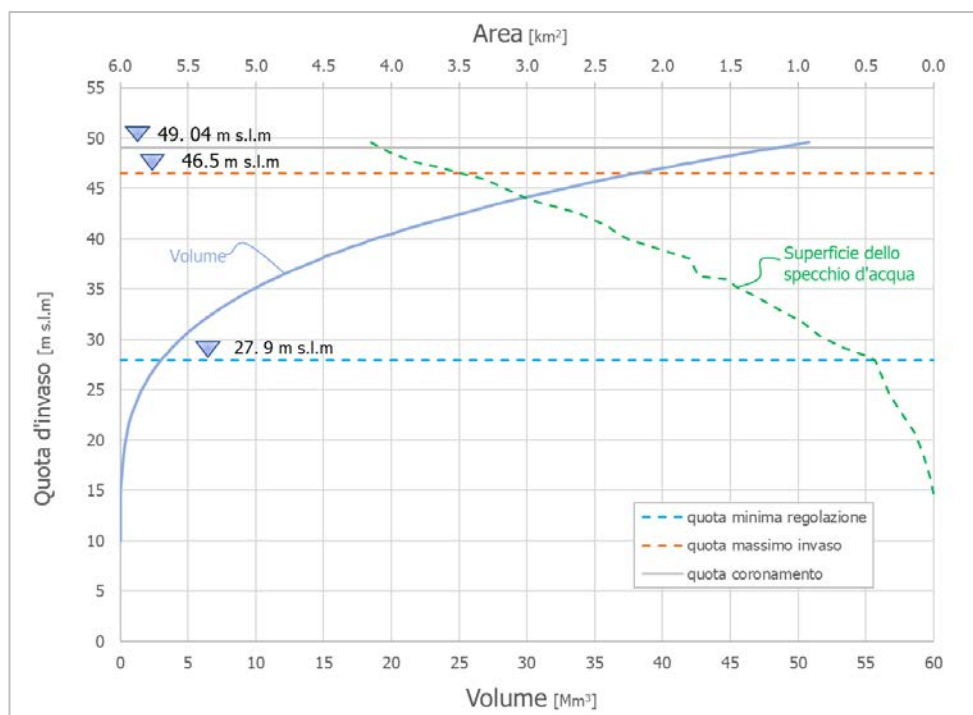


Fig. 5.1 : Curva di invaso del serbatoio di Maccheronis sul fiume Posada (ENAS 2016)

Considerato che il volume utile del progetto originario era 26.9 Mm^3 , a quota 43 m s.l.m. , il progetto consente un aumento della capacità di regolazione di 5.4 Mm^3 oltre all'adeguamento della piena di progetto.

Ricordiamo che, in seguito all'evento di piena del 2013 e come descritto nel capitolo precedente di questa relazione, il serbatoio è attualmente soggetto a limitazioni dei livelli stagionali di massima regolazione, per esigenze di sicurezza idraulica delle aree abitate a valle.

DIGA

La diga di Maccheronis è una classica diga a gravità in calcestruzzo, con pianta leggermente arcuata, ed al termine dei lavori previsti avrà le seguenti caratteristiche:

- Quota del coronamento 49.0 m s.l.m.
- Altezza massima in fondazione (secondo regolamento) 47.0 m
- Altezza rispetto alla quota dell'alveo a valle 32.0 m
- Sviluppo al coronamento 338.5 m

Il corpo diga é costituito da 24 conci, con paramento di monte subverticale, con pendenza $1/0.04$, e paramento di valle inclinato con pendenza $1 / 0.70$.

OPERE DI SCARICO

Sulla base dell'analisi idrologica condotta da Studio Pietrangeli, illustrata in dettaglio nel rapporto dedicato, sono stati selezionati i seguenti idrogrammi di progetto per questo studio di fattibilità.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

T (anni)	Q_T (m^3/s)	Volume (Mm^3)
50	2618	79
100	3066	92
200	3489	104
500	4072	123
1'000	4653	140

Fig. 5.2 : Piene di progetto, picco di portata e volumi cumulati

La diga comprende quattro opere di scarico che contribuiscono a far defluire a valle la piena di progetto, con il serbatoio al livello di massimo invaso, come segue:

Nel grafico seguente è illustrata la scala di deflusso di tutti gli organi di scarico esistenti considerando l'ipotesi di paratoie completamente aperte, la massima portata scaricabile e la massima quota di invaso.

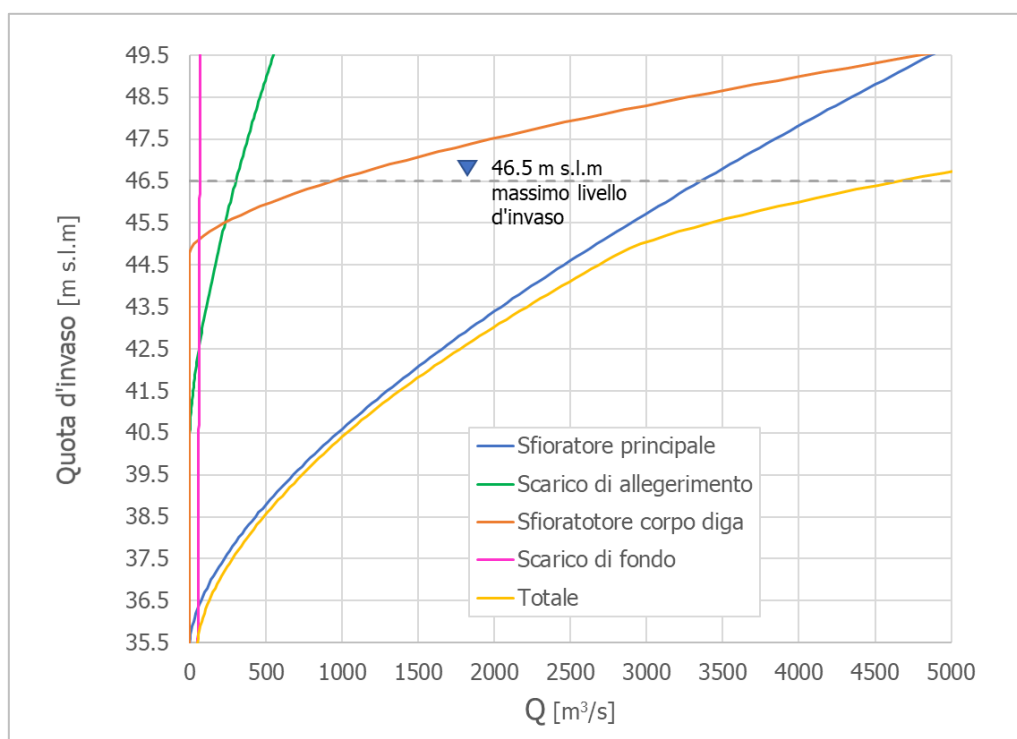


Fig. 5.3 : Scala di deflusso degli organi di scarico

SFIATORE A SOGLIA LIBERA IN CRESTA DIGA

Lo sfioratore a soglia libera sarà realizzato sui conci centrali trascinabili, attraverso quindici luci libere di cui No. 13 da 13 m, una da 7.7 m ed una da 8 m. Le caratteristiche fondamentali saranno le seguenti:

- Portata di progetto, con serbatoio al massimo invaso 936 m^3/s
- Luce totale netta 197.7 m
- Quota soglia 44.8 m s.l.m.

SCARICO DI ALLEGGERIMENTO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Lo scarico di alleggerimento sul concio V sarà modificato installando una paratoia a ventola ottenendo le seguenti caratteristiche:

- | | | |
|--|-------|-------------------|
| • Portata con serbatoio al livello di massimo invaso | 302 | m ³ /s |
| • Quota soglia | 40.50 | m |
| • Luce netta della soglia | 10.00 | m |
| • Altezza paratoia a ventola | 4.3 | m |

Nell'ambito di questo incarico, non sono previsti interventi sullo scarico di fondo (esistente e funzionante) né sul completamento dello sfioratore principale in sponda sinistra.

SCARICO DI FONDO:

- | | | |
|---|-------|-------------------|
| • Portata massima con livello di massimo invaso | 65 | m ³ /s |
| • Lunghezza galleria | 199.0 | m |
| • Diametro galleria (sezione circolare) | 3.50 | m |

SCARICO DI SUPERFICIE PRINCIPALE IN SPONDA SINISTRA:

- | | | |
|---|-------|-------------------|
| • Portata massima con livello di massimo invaso | 3'356 | m ³ /s |
| • Luce netta della soglia | 45.00 | m |
| • Quota soglia | 35.50 | m s.l.m |

5.3. REALIZZAZIONE DI UNA SOGLIA SFIORANTE IN CRESTA DIGA

La rivalutazione dell'idrologia del fiume Posada, sulla base dei recenti eventi e degli studi conseguenti, ha determinato un aumento significativo delle piene estreme:

- | | | |
|--------|-------------------|---|
| • 4653 | m ³ /s | piena di progetto millenaria (attuale) |
| • 3600 | m ³ /s | piena di progetto millenaria (esecutivo 2005) |

E' quindi necessario potenziare gli organi di scarico previsti nel progetto di ampliamento e, in gran parte, realizzati. Le possibilità principali sono due, ampliare il nuovo sfioratore in sponda sinistra oppure ricostituire lo sfioratore in cresta diga presente nel progetto originario. Non è infatti conveniente prevedere un innalzamento dei livelli di invaso, sia per ragioni ambientali che per l'aumento del carico statico sulla diga e sul nuovo sfioratore.

Come osservato nel precedente studio di fattibilità, l'ampliamento dello sfioratore in sinistra con una luce addizionale includerebbe interventi complessi ed onerosi sulle strutture già realizzate, ormai in fase di completamento, che sono dimensionate per condizioni idrauliche ben definite e non modificabili. Di conseguenza, la soluzione prescelta è stata la ricostituzione in cresta diga dello scarico di superficie originario.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

La figura seguente illustra, schematicamente, il dettaglio del concio tracimabile nella sua configurazione finale. La nuova soglia sfiorante è indicata in giallo.

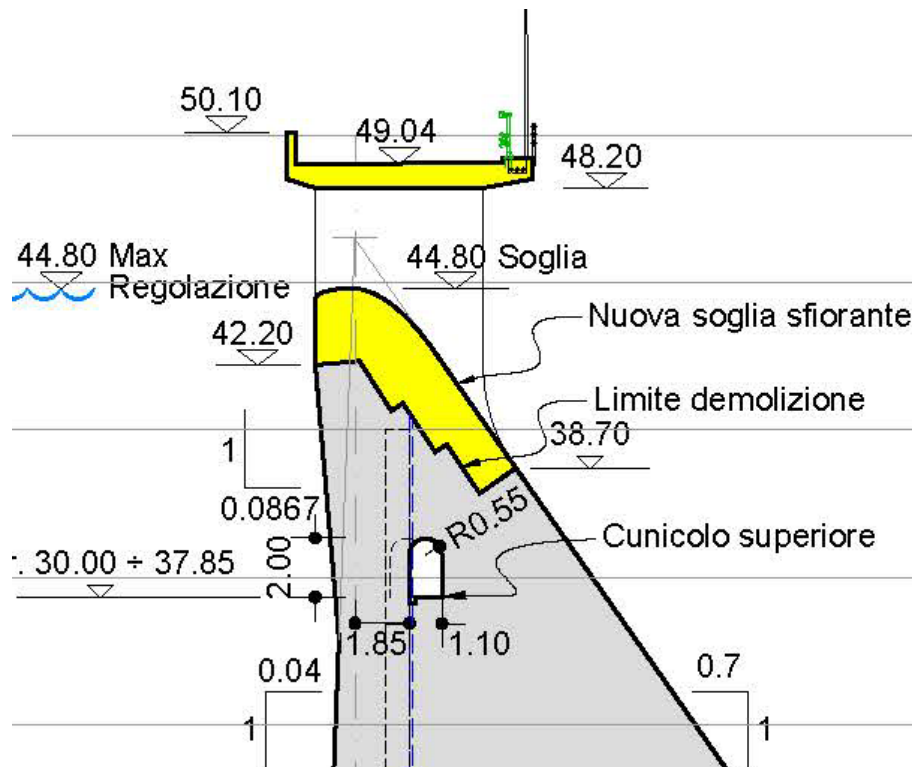


Fig. 5.4 : Schema del concio tracimabile (configurazione finale)

Lo sfioratore a soglia libera sarà realizzato sui conci centrali tracimabili, ottenendo quindici luci libere (di cui No. 13 da 13 m, una da 7.7 m ed una da 8 m) sui conci compresi tra il VI ed il XIX, inclusi tra i conci emergenti in sinistra e lo scarico di alleggerimento in destra, sul concio V.

Il profilo di demolizione già realizzato segue essenzialmente le linee di forza dovute al peso proprio ed ai carichi esterni, garantendo generalmente, sulle superfici di contatto tra il nuovo calcestruzzo e quello esistente, delle tensioni di compressione. In tal modo risulterà sufficiente inserire una quantità moderata di barre di collegamento per garantire la continuità strutturale tra il calcestruzzo della vecchia struttura ed il nuovo.

La nuova soglia sfiorante è stata prevista con un profilo di monte ellittico, per il raccordo di monte, seguito da un classico profilo Creager-Scimemi definito dalla seguente equazione:

- $Y = H_o * K * (X/H_o)^n$
- con $H_o = 1,7$

La tenuta dei giunti di costruzione, tra il nuovo coronamento e la struttura esistente, sarà realizzata mediante un nastro di tenuta "waterstop" in corrispondenza dei giunti di costruzione.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

5.4. COMPLETAMENTO DEL SOPRALZO DEI CONCI EMERGENTI

Il sovrizzo dei conci emergenti, previsto nel progetto esecutivo del 2005, serve ad allargare oltre che sopraelevare il coronamento in modo da ottenere una carreggiata transitabile di 7 m di larghezza. La sopraelevazione prevista nel progetto di ampliamento è stata già realizzata per i conci non tracimabili No. II, III e IV (destra) e XX, XXI e XXII (sinistra) portando il coronamento a quota 49,04 m s.l.m. (da 48,04 m) ed allargandolo da 3,0 a 8,3 m.

Rimane quindi da realizzare il sovrizzo dei soli due conci d'estremità, No. I e XXIV, all'interno del presente incarico.

5.5. SISTEMA DI DRENAGGIO

DRENAGGI IN CORPO DIGA

Questo progetto include la realizzazione dello schermo di drenaggio in corpo diga, già previsto nel progetto esecutivo del 2005 ma non ancora realizzato.

Il sistema include canne drenanti nel corpo diga ($d = 120$ mm, con interasse 2.5 m) per tutti i conci dal VI al XX, che potrà essere realizzato operando dalla sommità del coronamento o della soglia sfiorante, oppure dal cunicolo inferiore.

Per il lavoro dalla sommità della soglia scapitozzata potrà essere utilizzata una piattaforma di lavoro temporanea oppure si potrà pianificare i getti del sovrizzo in modo da disporre di un piano di lavoro orizzontale al momento opportuno. Le macchine normalmente impiegate (Beretta, Sandvick, etc.) sono di peso ed ingombro contenuto e ci sono modelli adatti sia alla perforazione dalla sommità che al lavoro in cunicolo.

DRENAGGI IN FONDAZIONE

Dall'analisi dei dati misurati si è visto che le sottopressioni in fondazione sono uguali o persino, in qualche caso, leggermente maggiori a quelle previste in fase di progetto dello schermo di drenaggio, realizzato nei primi anni del 2000.

Si ritiene pertanto opportuno prevedere il miglioramento del sistema mediante interventi di manutenzione straordinaria ed integrando lo schermo con drenaggi addizionali, al fine di ottenere una piena efficienza dello schermo nell'abbattimento delle sottopressioni a livelli di sicurezza ottimali.

Il sistema attuale prevede drenaggi in fondazione sotto la galleria perimetrale, da metà concio X a metà concio XVII, costituito da canne $\phi 200$ mm perforate dal cunicolo inferiore in roccia per circa 8 m di profondità con interasse di 2.5 m.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

Prevediamo quindi di estendere lo schermo a tutti i conci trascinabili, realizzando le canne dalla cresta (o dalla galleria più alta) per la metà mancante dei conci X e XVII, e poi per i conci dal IX al VI in spalla destra, e dal XVIII al XX in spalla sinistra. I nuovi drenaggi saranno perforati in roccia per circa 8 m.

Per quanto riguarda i drenaggi esistenti, sarà definito in fase di progetto definitivo un intervento di manutenzione straordinaria per la verifica del funzionamento di tutte le canne, e quindi la pulizia, disostruzione, riparazione ed eventuale ri-perforazione delle canne che risultino occluse, malfunzionanti, intasate o danneggiate.

Si riporta qui di seguito il quadro dei nuovi interventi previsti in questa fase.

Locazione	Perforazione	Totale (m)
Fondazione	D = 200 mm	580
Corpo diga	D = 120 mm	1'160

Fig. 5.5 : Nuovi interventi previsti per il sistema di drenaggio

5.6. STRUMENTAZIONE

Prevediamo di mantenere lo schema di misura e controllo previsto nel progetto esecutivo del 2005, inserendo gli strumenti previsti ed ancora non installati, con qualche integrazione in base ai nuovi studi effettuati.

La strumentazione proposta è illustrata nel disegno annesso:

- 105 GEN D SP 005 Opere di progetto, schema di monitoraggio

La misura degli spostamenti verrà effettuata con misure di allineamento e mediante pendoli. Poiché il coronamento diga verrà alzato di 1 m e verrà allargato, sono stati studiati due allineamenti in modo da misurare gli spostamenti dei sei conci centrali.

Sono confermati quindi il riposizionamento dei capisaldi fissi (collimatore e mire fisse) e l'inserimento di mire mobili sul coronamento, in modo da consentire le misure non solo degli spostamenti nel senso monte-valle, ma anche in senso verticale.

Per monitorare eventuali spostamenti relativi tra roccia di fondazione e cunicolo si conferma l'installazione di un pendolo rovescio nel concio XIV proprio tra i due pendoli dritti esistenti.

Le portate di filtrazione, scaricate attraverso le nuove canne drenanti in corpo diga ed i fori di drenaggio in fondazione, verranno misurate globalmente mediante lettura dei livelli sui due stramazzi disposti a monte dell'immissione della vasca di raccolta al centro della diga da cui vengono allontanate mediante due pompe.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

In questa fase si prevede di aggiungere un misuratore di livello automatico da installare nel pozzo centrale di raccolta e pompaggio, l'automatizzazione del processo di acquisizione delle misure effettuate ed il rimando alla centrale di controllo, in modo da avere immediata informazione su perdite/filtrazioni eccezionali improvvise o di un eventuale malfunzionamento dell'impianto di pompaggio.

Per quanto riguarda la misura delle sottopressioni, si conferma l'incremento delle misure piezometriche, con 8 piezometri negli 8 conci centrali (uno per concio dal X al XVII), e tre piezometri supplementari nel concio XIII il quale presenta una superficie di formazione più regolare, con trasduttori collegati con la casa di guardia.

Nel concio XIII due piezometri saranno perforati dal cunicolo, e due dal paramento di valle.

Rispetto al progetto del 2005 si prevede di inserire un ulteriore piezometro nel concio XIX per verificare il funzionamento dei drenaggi e l'andamento delle sottopressioni in spalla sinistra.

Per quanto riguarda la misura delle temperature nel calcestruzzo diga, si prevede di installare un sistema di n°8 termometri elettrici in un singolo concio, precisamente nel XIV, scelto tra i più alti e significativi.

Per le misure di temperatura dell'acqua si prevede l'inserimento di due termometri elettrici protetti in tubazione, fissati sul paramento di monte del concio n°XI, disposti in acqua a due quote fisse: 14 e 36 m slm, mentre per la misura delle quote d'invaso è prevista l'installazione di due nuove bilance idrostatiche, una nella camera di manovra dello scarico di fondo, e l'altra nel concio XI.

Si riporta qui di seguito il quadro riepilogativo degli strumenti previsti in questa fase.

MISURA	STRUMENTO	N°	CONCI
Sottopressioni	Piezometri	12	X-XVII
Spostamenti	2 Mire fisse, 6 Mire mobili, 2 basi	10	XI-XVI
Spostamenti	Pendolo rovescio	1	XIV
Livelli perdite/filtrazioni	Misuratore di livello	1	XIV
Temperatura cls	Termometri	8	XIV
Temperatura acqua	Termometri	2	XI
Livelli serbatoio	Bilancia idrostatica	2	XI - Cam.Man.Fondo

Fig. 5.6 : Interventi previsti per la strumentazione

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

5.1. SCARICO DI ALLEGGERIMENTO

Lo scarico di alleggerimento nel concio V, controllato da una paratoia, sarà modificato per consentire l'aumento del livello di invaso e l'installazione di una nuova paratoia per garantire il deflusso delle piccole piene:

- Portata con serbatoio al livello di massimo invaso 302 m³/s

La nuova paratoia prevista è del tipo a ventola, con apertura per abbattimento.

Una possibile soluzione alternativa con paratoia a settore, di dimensioni maggiori dell'attuale, non appare conveniente. Richiederebbe infatti sostanziali interventi strutturali sulle pile esistenti, i cui calcestruzzi appaiono peraltro deteriorati in superficie, non facili da realizzare in quanto dovrebbero essere in gran parte demolite e ricostruite per poter sostenere il carico maggiorato della nuova paratoia.

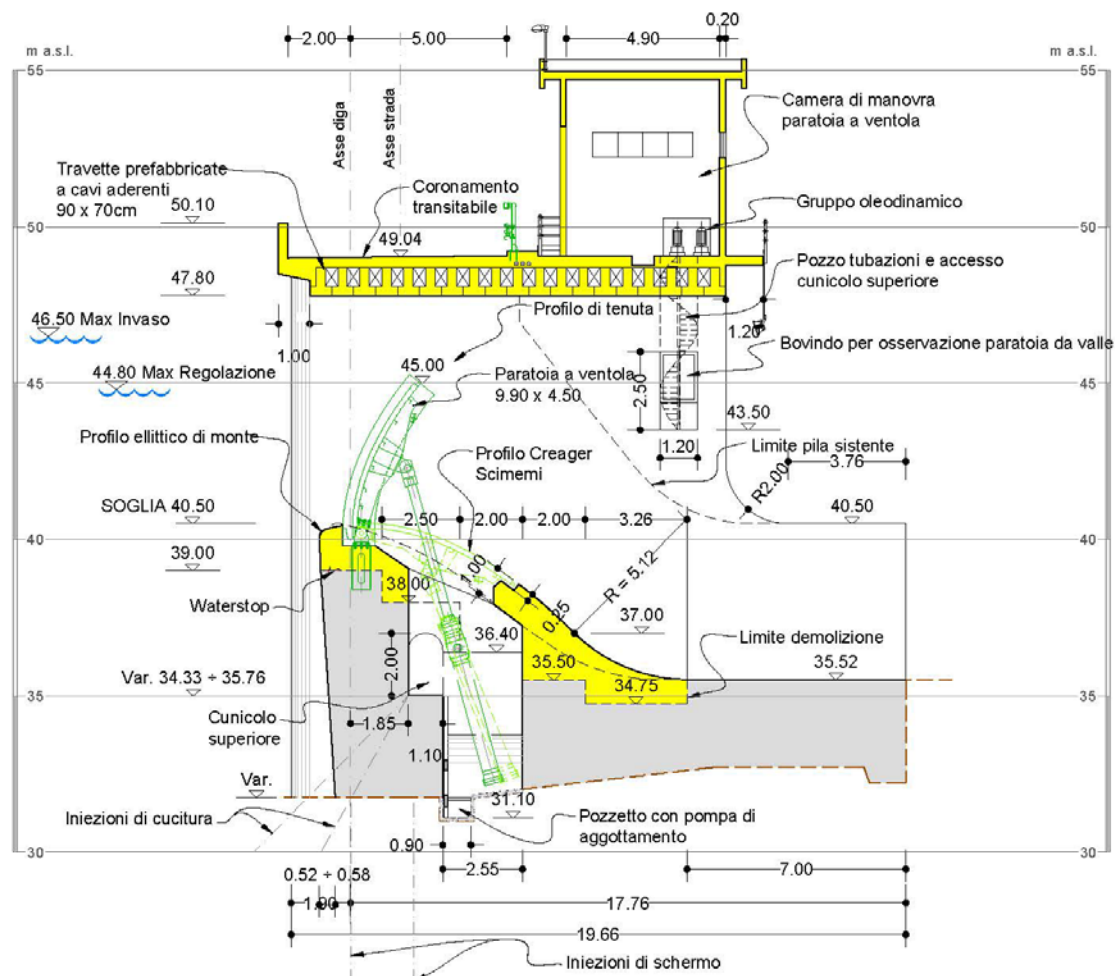


Fig. 5.7 : Interventi previsti per lo scarico di alleggerimento

Il progetto prevede la demolizione di parte della superficie dello scivolo esistente, per ricavare l'alloggiamento della paratoia e dei servomotori di sollevamento con comando oleodinamico.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

I pozzi dei pistoni intersecheranno il cunicolo esistente, che sarà utilizzato come accesso di servizio per il controllo e la manutenzione della paratoia e dei relativi servomotori. Le pile saranno parzialmente demolite, verso valle, e riprofilate per sopportare l'inserimento della camera di manovra della paratoia.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

6. CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI

Le principali attività previste in progetto risultano essere le seguenti:

- predisposizione e perforazione verticale dei conci per la realizzazione delle canne drenanti in corpo diga;
- smontaggio della paratoia di alleggerimento e relativo sistema di funzionamento (paratoia a segmento circa 10.0x4.5 m);
- demolizione parziale della soglia di alleggerimento concio V;
- getto delle soglie libere dei conci (dal V al XX) e delle pile dello sbarramento;
- formazione del nuovo viadotto alla quota di coronamento con impalcato a travi prefabbricate e soletta in calcestruzzo;
- montaggio, installazione e prove della paratoia dello scarico di alleggerimento ed impiantistica idraulica ed elettrica (paratoia a ventola);
- installazione nuovo sistema di monitoraggio internamente ed esternamente al corpo diga;

Per le attività sopra riportate sono stati stimati circa 30 mesi.

Di seguito si riporta il cronoprogramma dei lavori. I tempi riportati saranno meglio dettagliati nelle successive fasi progettuali.

CRONOPROGRAMMA DELLE LAVORAZIONI - Diga di MACCHERONIS																																
N°	Attività	Mesi																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
0	AVVIO ATTIVITA'	★																														
1	Predisposizione cantiere, organizzazione attività, movimentazione	■	■																													
2	Preparazione, pulizia e allestimento cresta diga esistente			■	■																											
3	Perforazione verticale dei conci per canne drenanti in corpo diga				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
4	Perforazione verticale in fondazione per canne drenanti e piezometri									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
5	Smontaggio paratoia alleggerimento				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
6	Demolizione soglia alleggerimento					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
7	Getti di soglia e completamento dello scarico di alleggerimento										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
8	Getti delle soglie libere conci trascinabili e delle pile del ponte																															
9	Montaggio ed installazione paratoia dello scarico di alleggerimento																															
10	Installazione sistema oleodinamico paratoia a ventola																															
11	Scavo e preparazione piazzali di estremità e conci di estremità																															
12	Demolizione e preparazione coronamento conci di estremità I e XXIV																															
13	Sopralzo conci di estremità I e XXIV																															
14	Formazione nuovo viadotto alla quota di coronamento																															
15	Installazione sistema di monitoraggio ed impianti																															
16	Prove di funzionamento, Lavori stradali e di finitura																															
17	Smobilizzazione																															

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

7. STIMA DEI COSTI DELLE OPERE

La stima degli interventi descritti nei paragrafi precedenti è stata effettuata applicando alle lavorazioni i prezzi desunti da parametri individuati in interventi similari realizzati e/o progettati.

Tale metodologia di approccio è compatibile con il livello di dettaglio dello Studio di Fattibilità Tecnico ed Economica; nelle successive fasi di progettazione saranno forniti i computi metrici di dettaglio.

Di seguito la stima dei lavori.

CODICE	DESCRIZIONE	IMPORTO
1	OPERE CIVILI IN CORPO DIGA	
1.1	DEMOLIZIONI	100.000,00 €
1.2	CASSEFORME, GETTI IN CLS, ARMATURE E FINITURE	1.600.000,00 €
1.3	GIUNTI, PERFORAZIONI, ANCORAGGI	300.000,00 €
1.4	IMPALCATO PONTE DEL CORONAMENTO	600.000,00 €
1,5	DRENAGGI	300.000,00 €
	TOTALE 1	2.900.000,00 €
2	Apparecchiature elettromeccaniche, impianti elettrici e strumentazione	
	TOTALE 2	600.000,00 €
3	Opere accessorie	
3,1	OPERE STRADALI	250.000,00 €
3,2	SISTEMAZIONI ACCESSORIE/DIVERSI	150.000,00 €
	TOTALE 3	400.000,00 €
	TOTALE	3.900.000,00 €