



**FSC**

Fondo per lo Sviluppo  
e la Coesione

Ente Acque della Sardegna  
Ente Abbas de Sardigna



## Diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada. Manutenzione straordinaria. Sistema di tenuta e di drenaggio e Consolidamento strutturale

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

MANDATARIA:

**Lombardi**

Lombardi Ingegneria S.r.l.

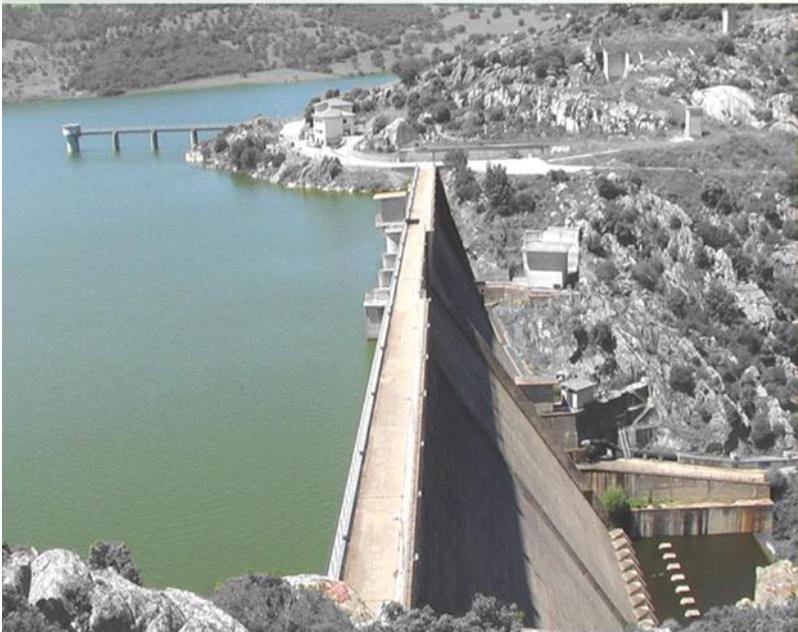
MANDANTI:

**TECENITAL**

**Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

**Lombardi**

Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## GENERALE

Relazione tecnico-illustrativa generale

2020\_0416\_002\_GEN\_R001\_0



**Diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada.**  
**Manutenzione straordinaria. Sistema di tenuta e di drenaggio e Consolidamento strutturale**  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

Versione	Data	Modifica	Redatto	Verificato	Approvato
0	26.01.2022	Versione iniziale	Tutti	Tutti	C. Silvestri

MANDATARIA:

MANDANTI:



# Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>EVIDENZE STORICHE</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>PRESCRIZIONI DEL DIP E QUADRO ESIGENZIALE</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>STUDI PREGRESSI E DOCUMENTI MESSI A DISPOSIZIONE</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA DIGA</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA ED IDRAULICA</b>	<b>13</b>
	7.1 Normativa e strumenti di pianificazione	13
	7.2 Analisi idrologica	13
	7.3 Analisi idraulica	15
<b>8</b>	<b>PIANO DEI RILIEVI TOPOGRAFICI</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>19</b>
	9.1 Indagini in sito	19
	9.2 Prove di laboratorio	20
<b>10</b>	<b>INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DELLA DIGA</b>	<b>21</b>
	10.1 Ripristino dello schermo di impermeabilizzazione	22
	10.2 Iniezioni di cucitura	24
	10.3 Rifacimento dello schermo di drenaggio	25
	10.4 Nuova rete di controllo piezometrico	27
	10.5 Chiavi di taglio	28
	10.5.1 Pali verticali dal coronamento	29
	10.5.2 Micropali dal paramento di valle	30
	10.6 Nuovi piezometri esterni	31
<b>11</b>	<b>CANTIERIZZAZIONE</b>	<b>32</b>
<b>12</b>	<b>CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI</b>	<b>1</b>
<b>13</b>	<b>STIMA SOMMARIA DELLE OPERE</b>	<b>3</b>

MANDATARIA:

MANDANTI:



# 1 PREMESSA

La presente Relazione tecnico-illustrativa generale è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica dell'intervento denominato "Diga di Monte Lerno sul Rio Mannu Pattada. Manutenzione straordinaria. Sistemi di tenuta e di drenaggio e Consolidamento strutturale".

La diga sul Rio Mannu di Pattada in località Monte Lerno è in esercizio limitato alla quota di 550 m s.l.m. durante il normale esercizio e alla quota di 555 m s.l.m. in occasione di eventi di piena. Detta limitazione si è resa necessaria a seguito del comportamento dello sbarramento rilevato a partire dai mesi di dicembre 2004 e gennaio 2005. In occasione di una piena e di un repentino aumento del livello d'invaso si è, infatti, riscontrato un incremento elevato delle perdite e delle sottopressioni sotto alcuni conci dello sbarramento e dei modesti spostamenti sia in direzione trasversale verso valle che longitudinale. Detta problematica era stata attribuita ad una insufficienza del sistema di dreno ascendente associata ad una limitata funzionalità dello schermo e delle cuciture.

Gli interventi in progetto hanno l'obiettivo di rimuovere l'attuale limitazione d'invaso ai fini dell'utilizzo al massimo potenziale della risorsa invasata, nel rispetto dei requisiti di sicurezza della diga ai sensi delle "Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", di cui al DM 14/06/2014, e dell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", di cui al DM 17/01/2018.

Questa relazione descrive il contesto in cui si iscrive il presente progetto, riassume le evidenze storiche che hanno condotto la Stazione Appaltante ad affidare i servizi di progettazione, illustra gli studi idraulici, idrogeologici e geologici svolti nell'attuale fase di progettazione, propone un piano di indagini integrative previste per la successiva fase di progettazione e infine presenta gli interventi proposti alla luce delle verifiche di stabilità eseguite sulla sponda destra della diga.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECENITPA**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## 2 EVIDENZE STORICHE

Tra la fine dell'anno 2004 e l'inizio del 2005, dopo un rapido aumento del livello di invaso, il sistema di monitoraggio della diga ha rilevato importanti incrementi delle sottopressioni e delle perdite, con particolare riferimento a quelle dei conci numero 6 e 8 in sponda destra. Dall'analisi del monitoraggio, gli spostamenti in direzione destra - sinistra hanno evidenziato una chiusura del giunto fra i conci 4 e 6 e un'apertura del giunto fra i conci 6 e 8, mentre in direzione monte – valle le collimazioni hanno evidenziato spostamenti verso valle di tutti i conci centrali dal n. 8 al n. 2 (con un massimo di 6 mm nel concio n. 6), parzialmente compatibili con l'aumento d'invaso del periodo. Detto comportamento, correlato con il contemporaneo e generale aumento delle perdite e delle sottopressioni, ha portato a ipotizzare uno scivolamento del concio 6 verso il concio 4, con conseguente perdita di adesione della fondazione del concio dalla roccia sottostante, la rottura dello schermo di tenuta nella zona dei conci in sponda destra citati, con conseguente passaggio d'acqua in fondazione.

Sono inoltre state ipotizzate possibili criticità sulla effettiva solidarizzazione roccia – calcestruzzo, con specifico riferimento al concio n. 6, visti i movimenti evidenziati dalle misure di monitoraggio.

Ai fini della sicurezza, viste anche le risultanze delle verifiche di stabilità elaborate dall'ENAS con nota prot. n. 10081 del 25.07.2013, l'Ufficio Tecnico per le dighe di Cagliari ha imposto una limitazione d'invaso, ancora in essere alla data di redazione del presente Studio di Fattibilità Tecnica ed Economica, alla quota di 550.00 m s.l.m. durante l'esercizio normale e di 555.00 m s.l.m. in occasione di eventi di piena; e ha contestualmente richiesto l'esecuzione di indagini mirate a individuare le cause alla base dei comportamenti osservati e a supporto della definizione di possibili soluzioni per ripristinare l'esercizio normale dello sbarramento.

Il piano di indagini finale proposto da ENAS è stato approvato dall'Ufficio Tecnico per le dighe di Cagliari con nulla osta di cui alla nota prot. n. 13878 del 12.06.2017.

Con nota prot. n. 23856 del 23.11.2018, ENAS ha trasmesso all'Ufficio dighe lo studio redatto dal proprio consulente Ing. A. Graziani: "Rapporto di sintesi sulle indagini geomeccaniche eseguite in sponda destra della diga", di cui si riportano di seguito in sintesi le considerazioni conclusive.

- L'insieme dei dati ottenuti dalle nuove indagini, dalla documentazione di progetto e dalle misure di controllo della diga viene valutato adeguato, per completezza e grado di approfondimento, a formulare un modello geotecnico dell'ammasso di fondazione della diga, con particolare riguardo alla situazione della sponda destra.
- Tale modello geotecnico dell'ammasso di fondazione comprende sia le caratteristiche meccaniche di resistenza e deformabilità sia le caratteristiche di permeabilità globali dell'ammasso, necessarie per la valutazione delle condizioni di stabilità e di efficienza funzionale dello sbarramento.
- Particolare attenzione è rivolta alla caratterizzazione della struttura dell'ammasso, in termini di geometria e condizioni (giacitura, spaziatura, estensione, apertura, scabrezza, eccetera) delle superfici di discontinuità.
- Le caratteristiche meccaniche della roccia sia alla scala dei provini di laboratorio sia alla scala dell'ammasso si possono considerare molto buone.
- La struttura e le caratteristiche specifiche della roccia di fondazione della diga di Monte Lerno consentono la definizione di un modello di mezzo continuo equivalente elasto- plastico, con criterio di resistenza di Hoek-Brown o di Mohr-Coulomb e permeabilità isotropa, da utilizzare per le analisi statiche e di filtrazione.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



- Le indagini e valutazioni effettuate per accertare le condizioni della fascia di contatto tra calcestruzzo e roccia, in particolare alla base dei conci 4, 6, 8, 10 e 12, hanno riscontrato condizioni di maggiore apertura delle discontinuità e allentamento tra i blocchi alla base dei conci 4, 6 e 8, in media più marcate nell'intervallo di profondità in roccia tra 0 e 10 m dal piano di imposta. Inoltre, l'effettivo profilo longitudinale della superficie di fondazione sembra presentare differenze significative, in termini di quota e inclinazione media, rispetto agli elaborati di progetto, in particolare nella zona del giunto verticale 4/6.
- La trasmissività idraulica della zona di contatto calcestruzzo-roccia risulta particolarmente elevata (dell'ordine dei 50 Lugeon) nei fori di indagine B1, B2 e B3 che hanno attraversato la base dei conci 6 e 8. Permeabilità medie elevate ( $k = 3 \times 10^{-6}$  m/s) caratterizzano un'estesa fascia di ammasso, fino a 8 – 10 m di profondità sotto il concio 8 e fino a profondità maggiori nella fascia tra i conci 4 e 6. Si consideri tuttavia che i fori di indagine attraversano una zona di ammasso prossima ma non interna allo schermo di iniezioni a suo tempo eseguite.
- In definitiva, per quanto riguarda la trasmissività idraulica della fascia di contatto calcestruzzo – roccia si hanno sufficienti evidenze di deterioramento o comunque scarsa efficacia delle iniezioni di cucitura sotto i conci 6 e 8 (del resto consistenti in due sole file di fori), e forti indizi di limitata efficienza dello schermo nella zona dei conci 4 e 6.

Sulla base dello studio di indagine redatto dal Prof. Graziani, ENAS ha in seguito affidato allo Studio di Ingegneria Balossi Restelli e Associati di Milano uno studio di fattibilità finalizzato all'analisi delle possibili cause che hanno determinato la rottura dello schermo di cucitura, il forte innalzamento delle sottopressioni e delle portate nei conci più profondi, all'individuazione degli interventi di rimessa in sicurezza dello sbarramento fino alla quota di massimo invaso oltre alla definizione delle modalità esecutive e delle specifiche di progetto degli stessi.

Per la risoluzione delle problematiche di cui sopra, lo studio di fattibilità redatto dallo Studio Balossi Restelli prevede l'esecuzione dei seguenti interventi:

- a) Ripristino dello schermo di impermeabilizzazione
- b) Realizzazione di nuove iniezioni di cucitura da valle e dal cunicolo;
- c) Rifacimento dello schermo di drenaggio;
- d) Realizzazione di una nuova rete di controllo piezometrico dal concio 13 al concio 14;
- e) Realizzazione di nuovi piezometri esterni.

MANDATARIA:

MANDANTI:



### 3 PRESCRIZIONI DEL DIP E QUADRO ESIGENZIALE

Gli interventi in progetto dovranno garantire i seguenti obiettivi principali, come descritti nella scheda n. 046 allegata all'accordo fra Ministero delle Infrastrutture e la Regione Sardegna.

- Rimozione della limitazione d'invaso ai fini dell'utilizzo al massimo potenziale della risorsa invasata, nel rispetto dei requisiti di sicurezza della diga ai sensi delle "Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)", di cui al DM 14/06/2014, e dell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", di cui al DM 17/01/2018
- Garantire il mantenimento in servizio dello sbarramento, durante la fase di realizzazione degli interventi, principalmente in relazione alla necessità di assicurare la continuità del servizio di erogazione idrica.
- Qualora le analisi di verifica dello sbarramento dovessero mostrare, anche nello scenario di avvenuta realizzazione degli interventi di consolidamento previsti nello studio Balossi Restelli, condizioni di stabilità insufficienti ai sensi delle normative citate, definire il massimo livello di invaso conseguibile in sicurezza.

In particolare, si specifica che gli studi statici dovranno, con successivi livelli di approfondimento, essere riferiti all'intera struttura e dovranno riportare le verifiche dell'intero sbarramento secondo quanto previsto dalle citate "Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" e "Norme Tecniche per le Costruzioni" (Aggiornamento 2018).

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTERRA**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## 4 STUDI PREGRESSI E DOCUMENTI MESSI A DISPOSIZIONE

Propedeuticamente alla redazione del presente progetto, sono stati messi a disposizione degli Scriventi i seguenti dati e documenti:

- [1]. Prof. Deriu M. "Relazione geologica finale sulle indagini geognostiche eseguite nella regione interessata dalle opere in progetto per la bonifica della piana di Chilivani con particolare riguardo a quelle connesse allo sbarramento del Rio Mannu Pattada (diga di monte Lerno), al relativo lago artificiale e alle opere di adduzione e distribuzione" Dic 1967
- [2]. Prof. Deriu M. "Consulenza geologica in fase esecutiva sui lavori di costruzione della diga sul Rio Mannu di Pattada – PRS 326/A.G. – Relazione sulla situazione geologica del piano di posa della diga in corrispondenza dei conci 0 e 1 «Conci zoppi» e sui provvedimenti proposti dalla Direzione Lavori per migliorare le condizioni di stabilità dei conci stessi"
- [3]. Prof. Deriu M. "Consulenza geologica in fase esecutiva sui lavori di costruzione della diga sul Rio Mannu di Pattada – PRS 326/A.G. – Sintesi relativa ai sopralluoghi sino ad ora effettuati e situazione geologica al Dicembre 1974" Feb 1975
- [4]. Prof. Deriu M. "Relazione geologica ad espletamento della consulenza durante i lavori previsti nella Perizia di Variante e Suppletiva alla diga di Pattada – «Conci zoppi»" Ott 1977
- [5]. PCM-SND, MATT (DG Difesa del Suolo), Cons. Bonifica del Nord Sardegna-Compr. Chilivani "Diga sul Rio Mannu di Pattada in località Monte Lerno – Collaudo in corso d'opera (art. 14 DPR 1.11.1959 n. 1363) – Relazione, verbale di visita finale, certificato di collaudo" – Mar 1997
- [6]. Servizio Dighe – Ufficio di Cagliari – "Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione" (02.03.1999)
- [7]. ENAS "Diagrammi dei dati di controllo – Periodo: gennaio 03 ÷ giugno 21" redatto dal Servizio Dighe (luglio 2021)
- [8]. ENAS - Bollettini mensili redatti dal Servizio Dighe: bollettini gennaio 2021 ÷ maggio 2021
- [9]. ENAS "Analisi di stabilità della diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada – Integrazione delle verifiche statiche considerando la pendenza longitudinale dei conci di sponda" - Gen 2013
- [10]. Prof. A. Graziani "Rapporto di sintesi sulle indagini geomeccaniche eseguite in sponda destra della diga" e relativi allegati grafici (11 tavole) – Nov 2018
- [11]. Prof. A. Graziani "Analisi di equilibrio limite conci in sponda destra della diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada" – Lug 2019
- [12]. Balossi Restelli e Associati "Studio di fattibilità" e relativi allegati (616.01÷08) – Set 2019
- [13]. Teknic srl "Relazione sulle indagini eseguite" – Gen 2018
- [14]. SolGeo srl "Diga di Monte Lerno – prospezioni geofisiche" e allegati A1÷A9 – Feb 2018

MANDATARIA:

MANDANTI:



## 5 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA DIGA

La diga sul Rio Mannu di Pattada in località Monte Lerno (Sassari), del tipo a gravità ordinaria in calcestruzzo con andamento planimetrico rettilineo, è a uso irriguo e idropotabile, con preventiva produzione di energia elettrica presso la centrale di Ozieri. L'ubicazione dello sbarramento è individuata dalle seguenti coordinate (rispetto al meridiano di Greenwich) della linea mediana di coronamento:

punto centrale	lat. N 40°35'24"	long. E 9°9'9"
spalla destra	lat. N 40°35'25.5"	long. E 9°9'13"
spalla sinistra	lat. N 40°35'23"	long. E 9°9'4"

La diga è costituita da 15 conci (numerati da 0 a 14, numeri pari in destra) dei quali i tre centrali (1, 0 e 2) sono tracicabili.

La distanza tra i giunti verticali che separano i conci è di 15 m per i conci di sponda, di 16.7 m per i conci tracicabili.

Il progetto esecutivo della diga risale al 1968; i lavori di costruzione si sono conclusi nel 1980 e il collaudo è avvenuto nel 1999. Le caratteristiche principali dell'opera sono le seguenti:

Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.82)	67,50 m
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/94)	61,50 m
Altezza di massima ritenuta	60,50 m
Quota coronamento	564,50 m s.l.m.
Quota di massimo invaso	563,50 m s.l.m.
Quota massima di regolazione	560,50 m s.l.m.
Quota minima di regolazione	530,00 m s.l.m.
Volume d'invaso complessivo	76.0 Mm3
Superficie del bacino imbrifero	160.0 km2

La sezione monte-valle del corpo diga è caratterizzata da un triangolo fondamentale con angolo di apertura di circa 37°; la pendenza H:V del paramento di valle è di 0.70, il paramento di monte è subverticale (H:V = 0.05).

La tenuta dei giunti è assicurata da un nastro di lamierino di rame posto a 0.50 m dal paramento di monte e di un successivo nastro di PVC (larghezza 0.36 m), a 0.80 m di distanza da quello di rame. Al piede i nastri di polivinile sono immorsati in un blocco di calcestruzzo di circa 1.5 x 2.0 m, incassato per circa 0.8 m nella roccia di fondazione.

I drenaggi all'interno del corpo diga (discendenti) sono costituiti da canne verticali, poste ad interasse di 3 m; le canne situate all'interno dei conci sono di diametro 20 cm, mentre le canne in corrispondenza dei giunti verticali tra i conci sono di diametro 30 cm.

Nel corpo della diga sono ricavati due cunicoli d'ispezione. Il primo, in sommità, è orizzontale e nelle parti dell'opera non tracicabile ha il piano di calpestio a 4.60 m sotto il coronamento, un po' più in basso nella parte tracicabile. Il secondo cunicolo, a quota variabile, segue perimetralmente l'imposta della diga.

In detto cunicolo, in corrispondenza di una canaletta posta a monte, sboccano i drenaggi discendenti del diametro pari a 3.5 cm, posti a interasse di 5.00 m (attrezzati con tubazioni da 1 pollice e strumentati per la misura delle sottopressioni), spinti fino a 3 m nella roccia di fondazione.

In merito ai sistemi di tenuta in fondazione, in un elaborato di cantiere è rappresentata una planimetria dell'impronta diga con la posizione di tre file di fori costituenti lo schermo di impermeabilizzazione. Nello stesso, le caratteristiche dello schermo

MANDATARIA:

MANDANTI:



**Diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada.**  
**Manutenzione straordinaria. Sistema di tenuta e di drenaggio e Consolidamento strutturale**  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

risultano differenti in sponda destra e in sponda sinistra. Nello specifico, le caratteristiche riportate delle file di fori di iniezione dello schermo individuerebbero in destra (conci 4 – 14) 3 file ad interasse di 0.75 m e in sinistra e al centro (conci 1, 0, 2 e conci 3 - 13) 3 file ad interasse 1.5 m. Nella sezione tipo dello sbarramento allegata agli atti di collaudo vengono confermate 3 file di schermo di cui la terza, più a valle, realizzata dopo il sistema di dreno in fondazione.

Dal verbale di collaudo risulta, inoltre, che sono state eseguite due file di iniezioni di cucitura (probabilmente con fori ad interasse di 3 m), la prima dal piede di monte della diga con fori inclinati verso valle, la seconda dal cunicolo inferiore con fori inclinati verso monte. Nello stesso verbale, si riferisce che nei conci centrali da 0 a 5 la lunghezza media dei fori è risultata di 16 m, l'assorbimento di 1.2 quintali di cemento per metro, la pressione massima di iniezione 10 atm. Negli altri conci, la profondità media è stata di 13 m, l'assorbimento inferiore a 1 quintale per metro.

Sui conci tracicimabili è posta una passerella di collegamento larga 4 m costituita da 4 campate di 12 m poggianti su pile di cemento armato. Lo sfioratore è costituito dal tratto centrale tracicimabile della diga, della lunghezza di 50.1 m, con profilo trasversale idoneo a determinare l'aderenza della vena.

A valle dello sfioratore è presente una vasca di dissipazione, della stessa dimensione longitudinale dello sfioratore e dell'ampiezza di 28.0 m. Nella vasca sono disposte due file di denti dissipatori, una delle quali addossata al paramento di valle.

Ancora a valle della vasca di dissipazione, una traversa a profilo tracicimabile determina un rigurgito avente lo scopo di rendere più uniforme la corrente nella vasca di dissipazione durante la massima portata di scarico.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECENTRAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame si trova in corrispondenza della porzione centrosettentrionale della Sardegna, nella provincia di Sassari.

Dal punto di vista geologico generale il sito si trova nel Complesso Intrusivo Ercinico del Batolite Sardo-Corso.

Di seguito viene proposto uno stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, foglio N° 194 Ozieri, con cerchiata la zona in esame (vedi Figura 1).

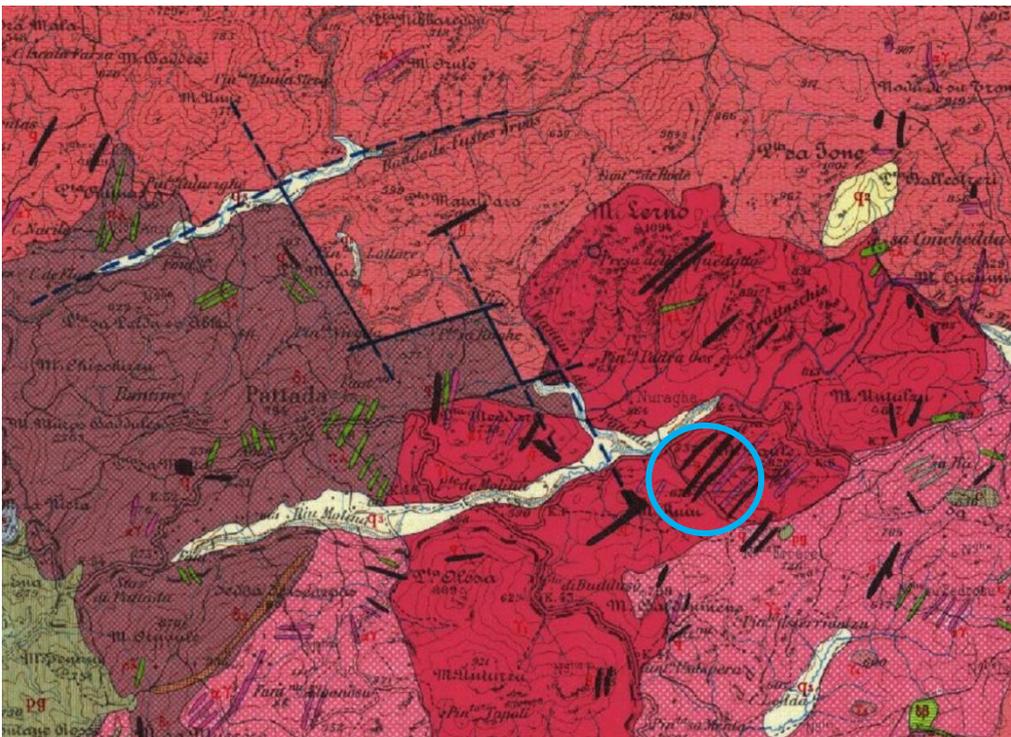


Figura 1 – Estratto dalla Carta Geologica d'Italia dell'area in esame

Le litologie affioranti nella zona sono costituite da Graniti, Micrograniti e Dioriti.

Dalla carta geologica al 100.000 i contatti fra i corpi intrusivi graniti e le dioriti sono di natura tettonica; si tratta di faglie di direzione sia NNW-SSE, sia circa E-W.

Secondo la carta geologica consultabile attraverso il Geoportale Sardegna, di cui uno stralcio è riportato in Figura 2, queste litologie appartengono al complesso granitico del Goceano Bittese ed in particolare all'unità intrusiva di Monte Lerno-Punta Senalonga; in questa cartografia non è riportata la presenza di faglie.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti

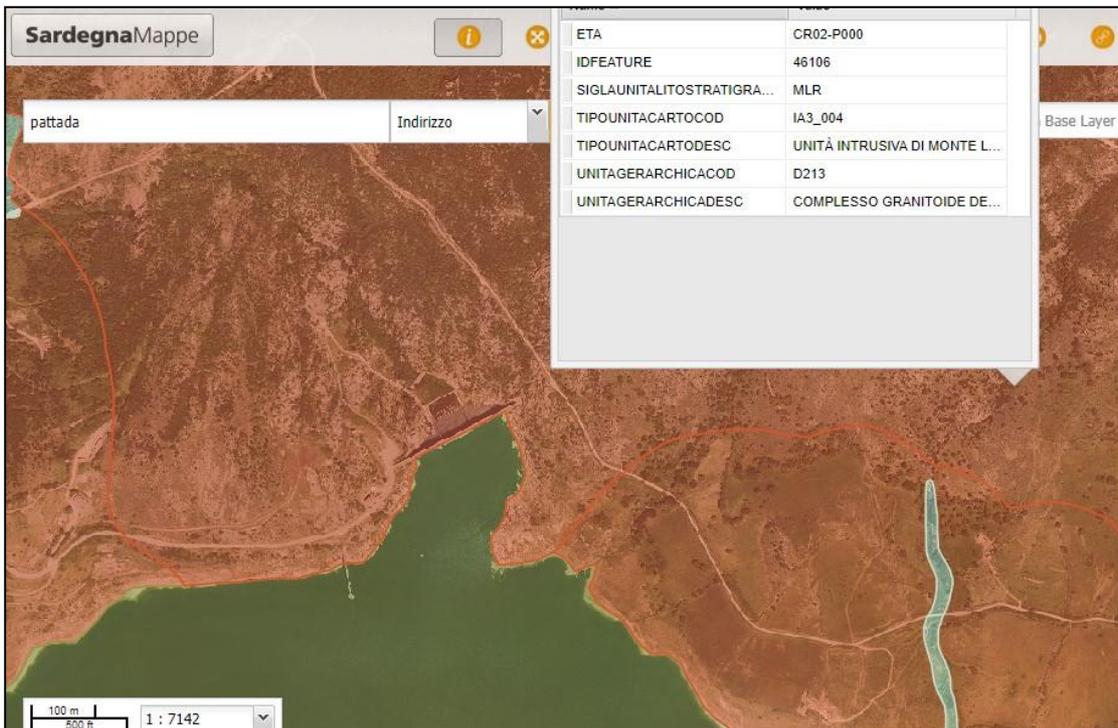


Figura 2 - Estratto della carta geologica dal Geoportale regionale

Nell'area non sono presenti formazioni filoniane di potenza significativa, ma solamente sottili vene quarzose e/o quarzoso – feldspatiche. Manifestazioni filoniane importanti affiorano invece nelle zone che circondano il bacino di invaso, dove sono presenti numerosi filoni di microgranito, apliti, porfido granitico, quarzo, orientati generalmente NE-SW.

In Figura 3 è riportato un estratto della carta geologica-strutturale afferente la progetto in esame, con evidenziate le aree di competenza delle litologie prevalentemente granitiche (graniti e micrograniti) da quelle prevalentemente dioritiche, e con la presenza di un reticolo di faglie presenti e presunte.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti

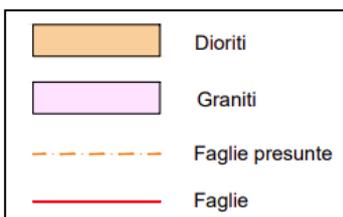
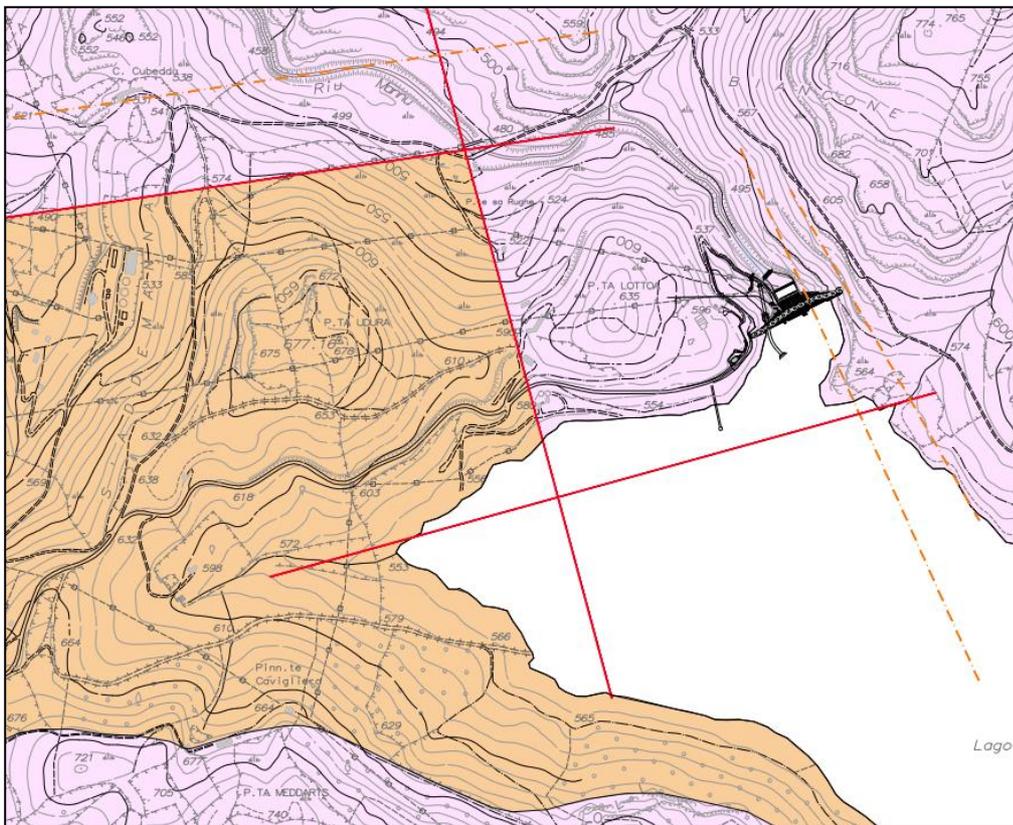


Figura 3 - Estratto dalla Carta Geologica Strutturale del progetto (Tavola 2020\_0416\_002\_GEO\_D001)

Il massiccio dioritico si sviluppa fra Punta Udua e Cima Cubeddu, in sponda di sinistra idrografica del Rio Mannu, mentre l'area di destra idrografica e la porzione a nord di Cima Cubeddu sono caratterizzate dall'affioramento diffuso di litologie granitiche.

Di seguito vengono descritte le litologie affioranti nell'area della diga e delle strette vicinanze:

#### GRANITI A GRANA MEDIA

I graniti a grana media si distinguono per la mancanza di elementi pegmatitici e per la loro grana medio-fine. Presentano colorazione bianca o rosata, talvolta giallognola. In generale presentano un grado di alterazione medio-alto, essendo meno resistenti rispetto ai micrograniti e alle dioriti.

La loro composizione è caratterizzata da minerali quali: quarzo, microclino, oligoclasio, biotite, muscovite e la composizione è generalmente aplitico-granitica e aplitico-alcaina.

#### MICROGRANITI

MANDATARIA:

MANDANTI:



Si tratta di rocce granitiche che precedono per età e caratteristiche strutturali tutti gli altri graniti sia a grana media sia pegmatitici. I micrograniti hanno una grande diffusione, colore dal bianco al grigio – giallastro al rosso, grana generalmente minuta, struttura granulare o porfirica. La composizione si discosta da quella dei graniti per l'abbondanza della muscovite che prevale sulla biotite e carattere decisamente alitico-alcalino.

In generale non mostrano tendenza alla degradazione diffusa e all'arenizzazione come i graniti, e morfologicamente danno luogo a rilievi aspri. Il grado di compattazione solitamente è superiore e il grado di normalmente inferiore a quello dei graniti.

#### DIORITI

Si tratta generalmente di rocce quarzodioritiche sia normali sia tonalitiche, la cui composizione varia fino ad un quarzo gabbro anfibolitico o ad una granodiorite biotitica.

Le rocce di queste masse hanno carattere piuttosto unitario. La loro composizione è caratterizzata da notevole abbondanza di quarzo, da abbondantissimi plagioclasti andesitici zonati, da poco K-feldspato (sia ortoclasio sia microclino), da biotite e omelblenda. La grana è di solito piuttosto grossolana e la struttura granulare.

Le dioriti quarzifere sono sempre fortemente arenizzate e alterate, in modo talvolta più diffuso dei graniti. Nella rena di fondo spiccano grandi e piccoli massi tondeggianti di roccia più compatta, talora durissima e resistente che ne contraddistingue la morfologia affiorante.

Nell'area sono presenti anche depositi quaternari i quali assumono minor importanza rispetto al substrato roccioso sia per la minor diffusione sia per spessori che li caratterizzano. In particolare si distinguono depositi di detrito di falda costituiti da sabbie e frammenti rocciosi e più rari blocchi di degradazione del substrato roccioso, e depositi fluviali di natura fine presenti in alveo. In entrambi i casi gli spessori sono ridotti ed inferiori ai 3 metri.

Dal punto di vista geomorfologico il bacino d'invaso è caratterizzato da un'area pianeggiante dolcemente raccordantesi ai versanti più impervi posti a est e a nord. Le rocce affioranti sono di tipo granitico, a grana differente da media a fine, generalmente poco alterate, anche in mescolanza fra loro confusa. Facies granodioritiche sono presenti a ovest di Punta Lottoa, in sinistra idrografica della diga, e si ritiene possano raccordarsi ai graniti mediante contatti di tipo tettonico.

Il Rio Mannu è il corso d'acqua principale; presenta direzione prevalente NW-SE, si innesta in una vallecola a V, e presenta un andamento di chiara impostazione tettonica con cambi di direzione della valle da circa N-S a circa E-W, soprattutto nel tratto a nord dello sbarramento,

L'area è interessata da altre e numerose vallecole minori, tutte affluenti del Rio Mannu, fortemente incise e con direzioni prevalentemente circa N-S.

In corrispondenza del margine più meridionale della zona in esame, al di sotto del contatto dioriti-graniti, sono presenti diverse sorgenti.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECENTRAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



**Diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada.  
Manutenzione straordinaria. Sistema di tenuta e di drenaggio e Consolidamento strutturale  
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

La morfologia dell'area in esame è distinta in due zone principali: le zone di altopiano e le zone a pendio inclinato.

Le zone di altopiano interessano tutta la zona della diga e il suo margine meridionale, mentre le zone a pendio fortemente inclinato interessano il margine settentrionale e orientale dell'area in esame.

Nelle zone di altopiano la morfologia è dolce e caratterizzata da un frequente susseguirsi di colline e depressioni, interessate da numerose vallecole con morfologia a V, come rappresentato nella Carta Geomorfologica allegata al progetto di cui uno stralcio è riportato in figura 4.

I complessi rocciosi costituenti le regioni di altopiano sono prevalentemente granitici e scistoso-cristallini. Nelle zone di affioramento granitico la morfologia, pur non essendo aspra, è tormentata nel dettaglio per la presenza di grossi sferoidi e blocchi tafonati disseminati entro la roccia piu' degradata. I filoni di quarzo e quelli aplitici appaiono rilevati talora sulle rocce circostanti in conseguenza della loro maggior resistenza alla degradazione.

Le zone a forte pendio sono invece caratterizzate dall'affiorare e/o dal subaffiorare di rocce granitiche e microgranitiche molto compatte e resistenti all'alterazione.

In destra idrografica, affiorano i pendii rocciosi piu' prominenti, gli unici che presentano deboli coperture di natura detritica.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTERRA**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## 7 ANALISI IDROLOGICA ED IDRAULICA

Nel presente capitolo si riportano i principali risultati dell'analisi idrologica, effettuata per il bacino contribuente sotteso dalla diga di Monte Lerno in comune di Pattada (SS), che sbarrò il corso del rio Mannu di Pattada, e di quella idraulica, effettuata per verificare la capacità degli scarichi della diga. L'obiettivo è quello di calcolare l'idrogramma di piena di progetto in ingresso all'invaso in conformità alle normative attualmente vigenti (NTD 2014), in modo da condurre una rivalutazione dell'analisi idrologica del progetto originario. In particolare, il tempo di ritorno di riferimento per la verifica idraulica degli scarichi della diga sarà quello cinquecentennale, secondo quanto indicato dalla NTD 2014 nel Cap. H.2.2, che impone che le dighe esistenti in calcestruzzo rispettino il franco idraulico netto per un evento di piena in afflusso con tale tempo di ritorno. Inoltre, sono calcolati idrogrammi di piena riferita a tempi di ritorno comparabili alle attività che vengono previste nel presente progetto, in modo da valutare gli effetti che essi inducono nell'invaso e a valle degli scarichi nell'area di cantiere.

Il presente capitolo raccoglie sinteticamente gli aspetti principali di questa analisi, illustrando la metodologia applicata ed i risultati ottenuti sia riguardo l'idrologia sia l'idraulica. La descrizione dettagliata della metodologia utilizzata e dei modelli implementati sono riportati nella Relazione Idrologica e Idraulica.

### 7.1 NORMATIVA E STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE

Per lo svolgimento dell'analisi idrologica e il calcolo delle portate di piena sono utilizzati gli strumenti di pianificazione territoriale e idraulica emessi dalla Regione Sardegna. Tra questi, in particolare, si fa riferimento al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) regionale e al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF), che costituiscono un riferimento primario per la trattazione dell'analisi idrologica.

Per stabilire le conformità della diga di Monte Lerno alle norme tecniche attualmente vigenti in materia di progettazione, costruzione ed esercizio di sbarramenti di ritenuta, è stato fatto riferimento al **D. M. 26 giugno 2014** - "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)".

### 7.2 ANALISI IDROLOGICA

Il rio Mannu di Pattada è un corso d'acqua della Sardegna centro-settentrionale, affluente del rio di Berchidda, il quale è immissario del lago Coghinas. Il bacino del rio Mannu di Pattada presenta una superficie di circa 157 km<sup>2</sup> alla sezione di chiusura in corrispondenza della diga di Monte Lerno. L'asta principale del rio Mannu di Pattada presenta una lunghezza di circa 28 km alla sezione di chiusura della diga di Monte Lerno, partendo da una quota di 813 m s.m.m. fino ai circa 510 m s.m.m. che si riferiscono alla quota d'imposta della diga. Le quote principali del bacino, ovvero quella massima, media e minima, sono rispettivamente pari a 1066 m s.m.m., 707 m s.m.m. e 510 m s.m.m.. Inoltre, l'asta principale presenta una pendenza media del 1.1 %, mentre il bacino nella sua interezza del 15.67%.

La stima delle massime precipitazioni nella Regione Sardegna è condotta con il metodo VAPI della regionalizzazione. Tale metodo si avvale del modello TCEV, ovvero un modello basato sulla definizione di regioni omogenee. Sulla base della definizione dei parametri regionali relativi al bacino del rio Mannu di Pattada, vengono calcolate le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP), relative ai tempi di ritorno  $T_R=2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500$  e 1000, riportate in Figura 4.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti

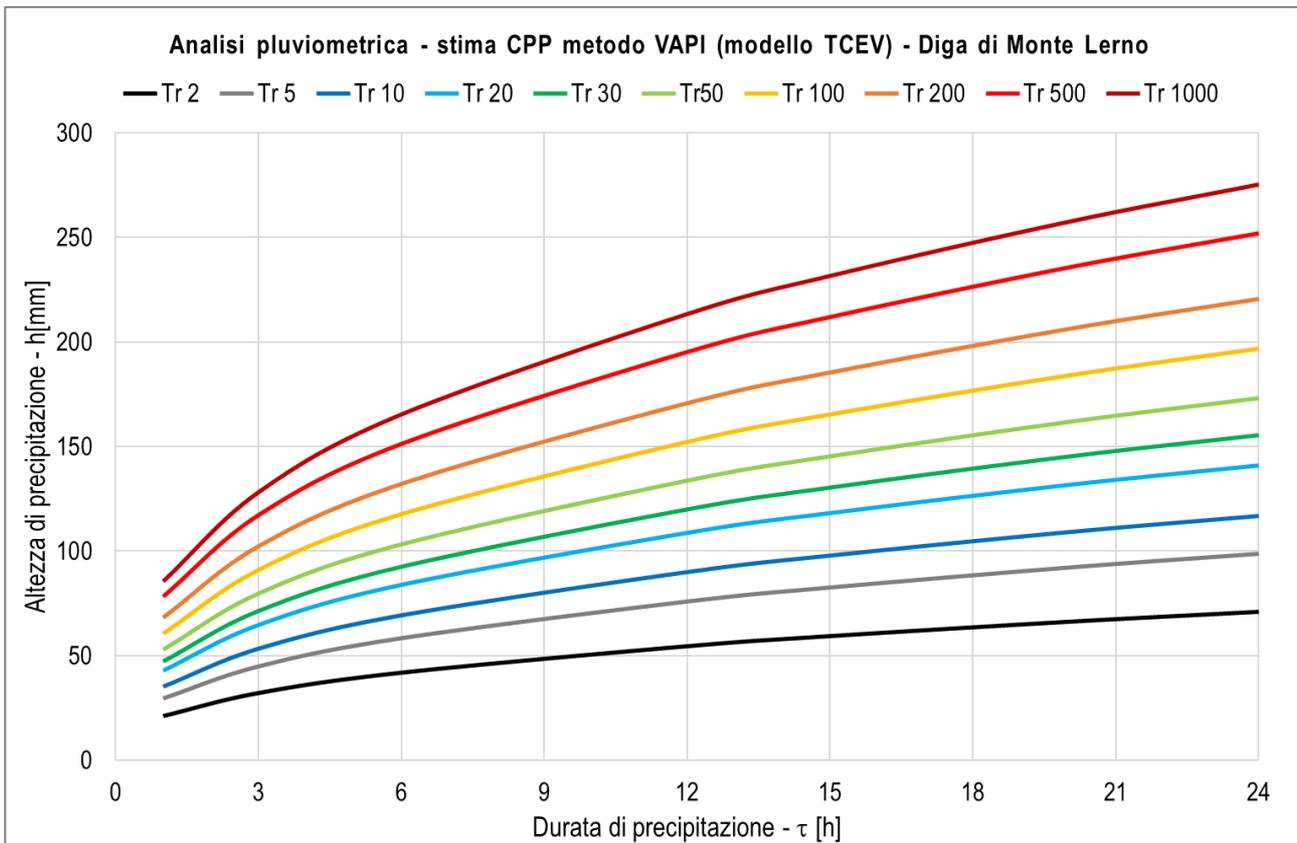


Figura 4 - CPP ottenute con metodo TCEV per il bacino del rio Mannu di Pattada chiuso alla diga di Monte Lerno

Sono state confrontate le portate al colmo ottenute con i metodi diretti ed indiretti. La portata al colmo più gravosa per Tr = 500 anni risulta essere quella calcolata con il metodo indiretto dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) dell'SCS, basato sul calcolo delle piogge con la regionalizzazione secondo il modello TCEV e su uno ietogramma Chicago (Tabella 1).

Tabella 1 - Valori della portata al colmo cinquecentennale

Portata al colmo cinquecentennale	Metodi diretti		Metodi indiretti - TCEV (piogge)	
	Lazzari	TCEV (portate)	Razionale - Ietog. Costante	SCS IUH - Ietog. Chicago
$Q_{500} [m^3/s]$	723.38	577.74	863.93	1042.00

Utilizzando dunque questa metodologia, il calcolo per i principali tempi di ritorno considerati fornisce le seguenti portate al colmo:

$$Q_{max,10} = 339 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{max,20} = 455 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{max,500} = 1042 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{max,1000} = 1170 \text{ m}^3/\text{s}$$

Gli idrogrammi ottenuti vengono confrontati tra loro in Figura 5.

MANDATARIA:

MANDANTI:

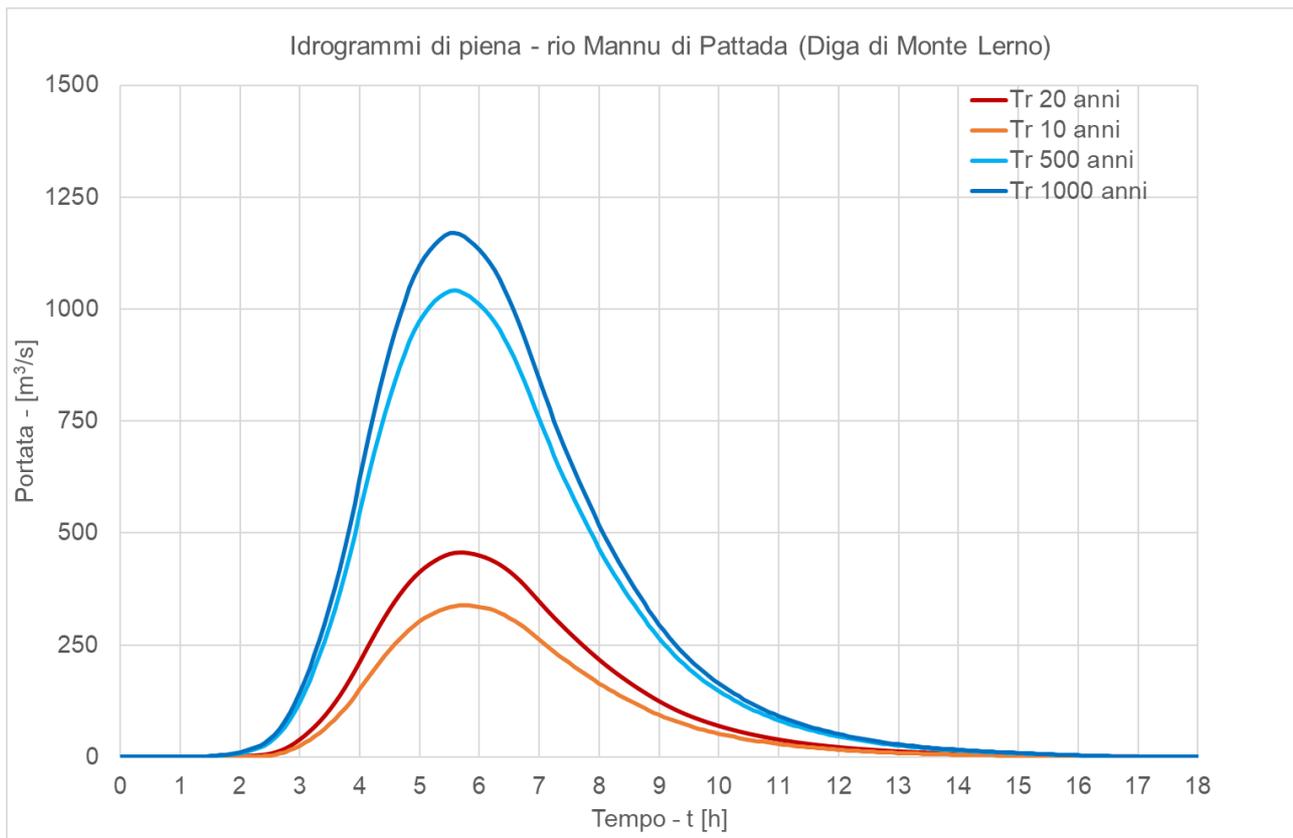


Figura 5 - Confronto tra idrogrammi in arrivo alla diga di Monte Lerno

### 7.3 ANALISI IDRAULICA

In conformità alla normativa in vigore (NTD 2014) il franco netto è definito come la differenza tra la quota del piano di coronamento (564.50 m s.m.m.) e quella di massimo invaso (563.50 m s.m.m.), incrementata della semialtezza della maggiore tra l'onda generata dal vento (100 km/h che generano un'ampiezza d'onda di 0.38 m, incrementata di run-up 0.063 m) ovvero quella di massima regolazione incrementata della semialtezza dell'onda da sisma di progetto.

Il franco netto secondo la definizione sopra esposta risulta:

$$Fr_N = 564.50 \text{ m s.m.m.} - 563.50 \text{ m s.m.m.} - (0.38 \text{ m} + 0.063 \text{ m}) = 0.55 \text{ m}$$

La normativa stabilisce che il valore minimo del franco netto in caso di diga in calcestruzzo sia pari ad almeno 1 m. Secondo l'attuale Foglio Condizioni non è soddisfatto il minimo franco netto richiesto da normativa vigente, con uno scarto di 0.45 m.

Il livello massimo ammissibile dell'invaso, che rispetti le indicazioni della NTD 2014 è dunque calcolato nel modo seguente:

$$H_{max,amm} = 564.50 \text{ m s.m.m.} - 1 \text{ m} - (0.42 \text{ m} + 0.13 \text{ m}) = 563.05 \text{ m s.m.m.}$$

La verifica idraulica degli scarichi della diga di Monte Lerno viene effettuata considerando la sola funzionalità degli scarichi di superficie (non presidiati) senza il contributo dello scarico di fondo, a partire dalla quota di massima regolazione. In Figura 6 si illustrano i risultati grafici delle verifiche effettuate considerando l'afflusso di un idrogramma di piena con  $Tr = 500$  anni.

MANDATARIA:

MANDANTI:

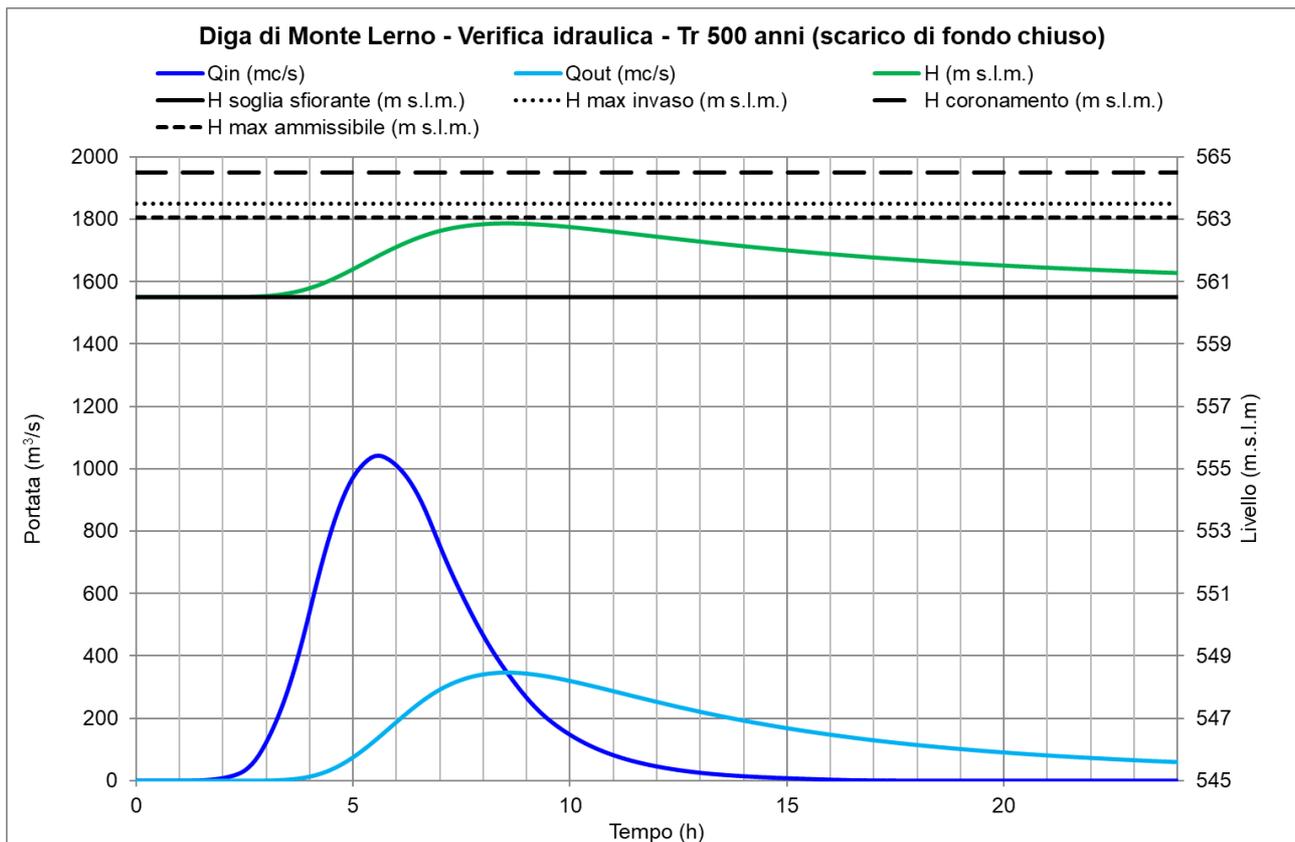


Figura 6 - Idrogrammi di afflusso per il Tr 500 anni alla diga di Monte Lerno (linea blu), di efflusso dallo sfioro superficiale (linea azzurra), livello nell'invaso (linea verde), quota del coronamento (linea a tratti lunghi nera), quota di massimo invaso (linea a punti nera), quota massima ammissibile (linea a tratti brevi nera) e quota della soglia sfiorante (linea nera).

Tabella 2 - Valori principali per la verifica dello scarico di superficie con evento di Tr = 500 anni

Verifica idraulica scarichi - Diga di Monte Lerno			
massima portata di afflusso	Qa-MAX [m <sup>3</sup> /s]		
massima portata di efflusso	Qe-MAX [m <sup>3</sup> /s]		
massimo livello idraulico raggiunto durante l'evento	Hmax [m s.m.m.]		
EVENTO	Qa-MAX [m <sup>3</sup> /s]	Qe-MAX [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>max,500</sub> [m s.m.m.]
Tr 500 anni	1040.00	346.00	562.85

Dai risultati ottenuti (Tabella 2) si nota che l'evento con Tr = 500 anni determina un innalzamento del livello dell'invaso tale da raggiungere una quota pari a  $H_{max,500} = 562.85$  m s. m. m., che risulta essere di 0.2 m inferiore alla quota massima ammissibile definita con il calcolo del franco netto secondo NTD 2014 ( $H_{max,amm} = 563.05$  m s. m. m.) e 0.65 m inferiore alla quota di massimo invaso definita nel Foglio Condizioni. Ciò permette di esprimere l'adeguatezza degli scarichi dell'opera in accordo con quanto previsto da normativa vigente (NTD 2014) per le dighe esistenti in calcestruzzo.

Nella Relazione Idrologica e Idraulica si riporta inoltre la verifica per un evento di più elevata probabilità di accadimento, da considerare relativamente agli effetti indotti sulle attività di cantiere, ovvero per Tr = 20 anni.

MANDATARIA:

MANDANTI:



## 8 PIANO DEI RILIEVI TOPOGRAFICI

Al fine di supportare le attività di progetto fino alla fase esecutiva verranno eseguite una serie di rilievi topografici, così da garantire un livello di conoscenza adeguato sulle aree oggetto degli interventi. È stato pertanto predisposto un piano di rilievi dove vengono definite le specifiche relative alle varie modalità di rilievo.

I rilievi verranno eseguiti sugli ambienti esterni del corpo diga e all'interno dei cunicoli dello stesso. Verrà posta particolare attenzione nei confronti dei manufatti presenti lungo i percorsi di accesso alla zona di valle e alla vasca di dissipazione allo scopo di rendere possibile l'individuazione di tutte le possibili interferenze che possano causare criticità durante le fasi di lavorazione. In maniera analoga sarà necessario agire all'interno dei cunicoli, per i quali il livello di dettaglio degli elaborati e delle modellazioni finali dovranno fornire tutte le indicazioni necessarie alla caratterizzazione geometrica degli ingombri dei dispositivi tecnologici e di sicurezza così da poter ottenere un adeguato livello di conoscenza degli spazi a disposizione per garantire la corretta pianificazione delle attività di lavoro al loro interno.

Le modalità di rilievo varieranno in funzione del livello di dettaglio che si vuole perseguire per i diversi elementi presenti intorno alla diga e integreranno metodologie topografiche classiche con attività laser scanner terrestre e LIDAR da drone. Le attività di rilievo verranno suddivise secondo il seguente schema:

### Rilievo celerimetrico dei principali manufatti dell'area:

- Ingresso cunicoli;
- Rilievo della zona boschiva a valle della vasca di dissipazione;
- Condotte e manufatti interferenti con viabilità interna e aree di cantiere;
- Strada di servizio per accesso al paramento di valle;
- Ev. altri manufatti presenti.



### Rilievo da drone:

- Rilievo aerofotogrammetrico delle aree indicate negli specifici elaborati di progetto;
- Integrazione dati rilievo laser scanner su corpo diga e manufatti

### Rilievo con Laser scanner:

- Paramento valle
- Cunicoli interni corpo diga

MANDATARIA:

MANDANTI:



- Ev. altri manufatti presenti.



Al termine delle campagne di rilievo dovranno essere prodotte le modellazioni e gli elaborati grafici secondo le specifiche presenti nell'apposito elaborato relativo al piano dei rilievi topografici. In particolare, verranno prodotte planimetrie e sezioni del corpo diga e dei cunicoli, relazioni tecniche sugli strumenti utilizzati per eseguire i rilievi e sui riferimenti topografici utilizzati per la calibrazione degli stessi, dossier fotografico e modelli digitali con nuvole di punti anche in formato ASCII (.txt). Tutti gli elaborati verranno correttamente georeferenziati nello stesso sistema di riferimento alla base del progetto.

MANDATARIA:

MANDANTI:



## 9 PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il presente progetto comprende un piano di indagini geognostiche integrative a supporto della progettazione degli interventi, con le seguenti modalità principali:

- acquisire dati più esaustivi sulle condizioni dell'ammasso roccioso in sponda sinistra, per la quale si dispone di informazioni indirette e incomplete relative ai sondaggi eseguiti per il Progetto Esecutivo della diga (1968), e non coperta dalla suddetta campagna di indagini condotta nel 2017;
- verificare le quote e le condizioni del contatto fra la diga e la roccia di fondazione lungo la sponda sinistra;
- verificare il quadro geologico nella zona dello sbarramento, con particolare riferimento alla possibile presenza di faglie e alla distinzione fra formazioni dioritiche e formazioni granitiche, e nell'ambito di queste ultime fra facies di graniti e di micrograniti;
- affinare dunque la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso alla base della diga.

Le indagini proposte, la cui ubicazione è riportata sulle tavole 2020\_0416\_002\_IGE\_D\_001 e 2020\_0416\_002\_IGE\_D\_001 facenti parte del presente Studio di Fattibilità Tecnica ed Economica, comprendono indagini in sito e prove di laboratorio.

### 9.1 INDAGINI IN SITO

Le indagini in sito sono così articolate:

- n. 10 **sondaggi a carotaggio continuo** (S1-S10) mirati a indagare le condizioni del contatto fra calcestruzzo e fondazione e dell'ammasso roccioso entro le profondità più direttamente interessate dallo sbarramento:
  - il sondaggio S1 sarà eseguito all'esterno della diga, in prossimità della spalla sinistra, nel piazzale di manovra posto di fronte alla casa di guardia; avrà direzione verticale e lunghezza pari a 40m.
  - i sondaggi S2-S8 saranno eseguiti, in sponda destra, dal cunicolo perimetrale della diga, verticali nel piano dell'asse dello sbarramento e inclinati di 5° verso valle per evitare di intercettare lo schermo di tenuta esistente; attraverseranno il calcestruzzo della diga ed entreranno nella roccia per circa 15 m;
  - il sondaggio S9 sarà eseguito dal cunicolo perimetrale nel tratto in cui questo attraversa il concio 4, avrà lunghezza pari a 25m e sarà inclinato verso la spalla destra in modo da indagare una porzione dell'ammasso (fondazione dei conci 4 e 6) in cui una tomografia sismica condotta nel 2017 ha riscontrato velocità di propagazione delle onde elastiche significativamente inferiori a quelle tipiche del resto dell'ammasso indagato;
  - il sondaggio S10 sarà eseguito dal concio di spalla destra: la postazione potrà essere raggiunta direttamente tramite il coronamento della diga.
- Prove di **permeabilità Lugeon** nei suddetti fori di sondaggio, eseguite in avanzamento ogni 3m di perforazione nella roccia.
- Rilievo dei fori di sondaggio mediante **telecamera ottica (BHTV)** e **sonda acustica ad alta risoluzione (HRAT)**.
- **Sondaggi sonici** lungo tutti i fori di sondaggio verticali.
- Prove **cross hole** nei fori di sondaggio S2-S8, con restituzione di tomografie per ogni coppia di fori contigui.
- N. 3 **stendimenti geofisici a rifrazione** in prossimità del paramento di valle della diga e posizionati in modo da coprire l'intero profilo della valle, da versante a versante, entro le quote di interesse per la diga.

MANDATARIA:

MANDANTI:



Saranno anche eseguiti rilievi inclinometrici lungo i fori di sondaggio e il rilievo geomeccanico delle discontinuità, per una valutazione degli indici di qualità dell'ammasso.

Sondaggio	inclinazione		L [m]	tipo	Lugeon [-]	cross hole [-]	log sonici [-]	BHTV [-]	HRAT [-]
	$\alpha$ [°]	$\beta$ [°]							
S1	0	0	40	c.c.	13	1	1	1	1
S2	-5	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
S3	-5	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
S4	-5	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
S5	-5	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
S6	-5	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
S7	-5	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
S8	-5	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
S9	-5	15	25	c.c.	6	1	1	1	1
S10	0	0	20	c.c.	5	1	1	1	1
totale			225	-	59	10	10	10	10

Legenda:  
 $\alpha$  positivo verso monte  
 $\beta$  positivo verso la spalla destra  
c.c. carotaggio continuo  
BHTV rilievo con telecamera ottica  
HRAT rilievo ad alta risoluzione con sonda acustica (ABHTV)

Tabella 3 – Sintesi dei sondaggi integrativi e delle prove in foro

## 9.2 PROVE DI LABORATORIO

Comprendono:

- prove di **resistenza a compressione monoassiale** della roccia intatta; in almeno metà delle prove saranno rilevati gli spostamenti per la **determinazione delle deformazioni** e quindi del **modulo elastico** della roccia intatta;
- prove di **resistenza a trazione indiretta** (prova “brasiliana”);
- prove di **taglio su giunto**;
- determinazione del **peso di volume della roccia**, apparente e reale;
- determinazione della **velocità di propagazione delle onde** elastiche di compressione e di taglio nel campione;
- prove di **resistenza a compressione triassiale**.

Sondaggio	L [m]	n. campioni	$\gamma, \gamma_{app}$ [-]	UCS [-]	$D_{UCS}$ [-]	Vp, Vs [-]	BRA [-]	TXDC [-]	$T_G$ [-]
S1	40	8	2	6	3	2	4	3	3
S2	20	3	1	2	1	1	2	1	1
S3	20	3		2	1	1	1	1	1
S4	20	3	1	2	1	1	2	1	1
S5	20	3		2	1	1	1	1	1
S6	20	3	1	2	1	1	2	1	1
S7	20	3		2	1	1	1	1	1
S8	20	3	1	2	1	1	1	1	1
S9	25	4	1	3	2	1	2	1	1
S10	20	3	1	2	1	1	2	1	1
totale		36	8	25	13	11	18	12	12

Legenda:  
 $\gamma$  massa volumica reale  
 $\gamma_{app}$  massa volumica apparente  
UCS resistenza a compressione monoassiale  
 $D_{UCS}$  misura degli spostamenti assiali e radiali nel corso delle UCS  
Vp, Vs determinazione della velocità delle onde di compressione e di taglio  
BRA resistenza a trazione indiretta (“brasiliana”)  
TXDC resistenza a compressione triassiale  
 $T_G$  taglio su giunto

Tabella 4 – Sintesi delle prove di laboratorio sui campioni in roccia

MANDATARIA:

MANDANTI:



## 10 INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DELLA DIGA

Gli interventi di consolidamento della diga mirano a ristabilire il livello di sicurezza richiesto dalle normative vigenti in materia di stabilità delle dighe (“Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)”, di cui al DM 14/06/2014, e “Norme Tecniche per le Costruzioni”, di cui al DM 17/01/2018), per il livello normale di esercizio della diga (560.50 m s.l.m.) e per il livello di massimo invaso in condizioni di piena (563.50 m s.l.m.) corrispondenti al progetto originale. Infatti, la diga è attualmente sottoposta dal 2013 da parte dell’Ufficio Tecnico per le dighe di Cagliari ad una limitazione d’invaso alla quota di 550.00 m s.l.m. durante l’esercizio normale e di 555.00 m s.l.m. in occasione di eventi di piena.

Gli interventi già proposti nello studio Balossi Restelli del 2019 e riconfermati con leggere modifiche in questo presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica consistono in un ripristino dello schermo di tenuta mediante iniezioni, nella realizzazione di un nuovo schermo di drenaggio e nel consolidamento mediante iniezioni del contatto tra fondazione e roccia sotto i conci C4, C6 e C8.

Il ripristino dello schermo di tenuta ha lo scopo di riportare alla piena funzionalità la barriera impermeabile a monte della diga, la cui efficienza è stata dimostrata non più adeguata dalle misure di monitoraggio. Infatti, sotto alcuni conci, sono state registrate portate e pressioni elevate nei piezometri ubicati a valle dello schermo. La realizzazione di un nuovo schermo di drenaggio direttamente a valle dello schermo di tenuta consentirà invece di ridurre le sottopressioni sotto la fondazione della diga e di aumentarne in questo modo la stabilità. Infine, la cucitura mediante iniezioni della fondazione dei conci C4, C6 e C8 avrà lo scopo di sigillare sia il contatto fondazione-roccia che le fessure nella roccia direttamente sottostante il piano di fondazione. Questo intervento avrà il duplice obiettivo di ridurre la permeabilità sotto la fondazione e di migliorare l’aderenza del contatto fondazione-roccia, che ha subito verosimilmente un distacco sotto il concio C6.

Le verifiche di stabilità condotte su tutti i conci della sponda destra hanno confermato il miglioramento delle condizioni attuali di stabilità della diga, prendendo in considerazione la riduzione delle sottopressioni assicurata dal nuovo schermo di drenaggio. L’intervento però non consente di raggiungere un livello di sicurezza sufficiente ai sensi del DM 14/06/2014. Per cui, gli interventi di consolidamento previsti nello studio Balossi Restelli non consentono di tornare alla condizione di utilizzo completo del potenziale della risorsa invasata. Tuttavia, questi interventi permettono di aumentare il limite attuale del livello d’invaso dalla quota attuale di 550.00 m s.l.m. alla quota di 555.00 m s.l.m. durante l’esercizio normale e di accettare un livello di 562.00 m s.l.m., prossimo a quello di massimo invaso (563.50 m s.l.m.) in condizioni di verifica eccezionali. L’intervento dello studio Balossi Restelli può quindi essere considerato, ai sensi della normativa del DM 14/06/2014, come un intervento di miglioramento, ma non di adeguamento.

Per raggiungere un livello di sicurezza adeguato per i livelli di normale regolazione e di massima piena del progetto originale della diga, si deve realizzare un intervento di consolidamento strutturale dei 3 conci caratterizzati da minori coefficienti di sicurezza (C4, C6, C8). Per raggiungere tale obiettivo, si propone di realizzare delle chiavi di taglio in corrispondenza dei giunti tra i conci C8-C6, C6-C4 e C4-C2, per consentire il trasferimento delle forze di taglio tra i conci e raggiungere così un

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



livello di sicurezza sufficiente per l'intera spalla destra. Questo intervento integrativo permette di qualificare l'intervento di messa in sicurezza come un intervento di adeguamento a tutti i sensi della normativa.

Poiché i finanziamenti allocati dall'Amministrazione sono stati calcolati considerando un importo dei lavori consistenti con l'intervento dello studio Balossi Restelli, si propone di suddividere l'appalto in due lotti funzionali distinti: il 1° lotto corrisponde all'intervento dello studio Balossi Restelli; tale intervento permette di migliorare la sicurezza e di ridurre la limitazione attuale d'invaso. Il 2° lotto consiste nella realizzazione delle chiavi di taglio e consente di sfruttare tutte le risorse dell'invaso fino alle quote del progetto originale.

Questi due interventi potranno quindi essere eseguiti in sequenza oppure in parallelo (vedi Cronoprogramma al § 0), a seconda della decisione della Stazione Appaltante. La gestione del cantiere proposta in questo progetto prende in considerazione la possibilità di realizzare gli interventi sia l'uno dopo l'altro, sia contemporaneamente. In questo ultimo caso, un'attenzione particolare dovrà essere rivolta alla gestione delle interferenze delle lavorazioni al piede del paramento di valle della diga.

### **10.1 Ripristino dello schermo di impermeabilizzazione**

L'intervento di ripristino dello schermo di tenuta idraulica interesserà i conci 3, 1, 0, 2, 4, 6 e 8 con profondità differenti a seconda della quota di fondazione del concio stesso, e sarà eseguito dal cunicolo perimetrale (inferiore) della diga.

Saranno eseguite iniezioni su tre file (di monte, centrale, di valle), con inclinazione e lunghezza diverse e interasse fra i fori pari a 3m (uguale per tutte le file), a meno di variazioni minori (decimetriche) legate al passo dei gradini presenti lungo il cunicolo.

La sequenza di esecuzione delle file prevede:

1. fila di valle
2. fila di monte
3. fila centrale

Inoltre, la fila centrale sarà inclinata di 15° verso la spalla destra (a differenza delle file di valle e di monte che non hanno inclinazione in quella direzione).

In questo modo:

- la fila centrale resterà confinata fra quelle di monte e di valle, minimizzando la dispersione di miscela di iniezione;
- l'incrocio fra le direzioni delle tre file eviterà che le discontinuità subverticali possano non essere intercettate dalle altre file.

Quanto sopra fornisce maggiori garanzie in merito alla piena riuscita dell'intervento, in termini sia di intercettazione di tutte le discontinuità presenti, sia di intasamento delle discontinuità stesse.

La tabella seguente sintetizza la configurazione di questo intervento, sopra descritta.

MANDATARIA:

MANDANTI:



fila	inclinazione		profondità	interasse	D <sub>perf</sub>
	verso monte	verso destra			
	[°]		[m in roccia]	[m]	[mm]
valle	5	0	20÷40	3	64
centrale	10	15	15÷35	3	64
monte	18	0	15	3	64

Tabella 5 - Configurazione generale delle iniezioni di ripristino dello schermo di tenuta

Le tavole di progetto 2020\_0416\_002\_STR\_D001 e D004 (fogli 1÷3 di 3) rappresentano l'intervento in pianta, profilo e sezioni; nella figura sottostante si riporta una sezione tipo dell'intervento.

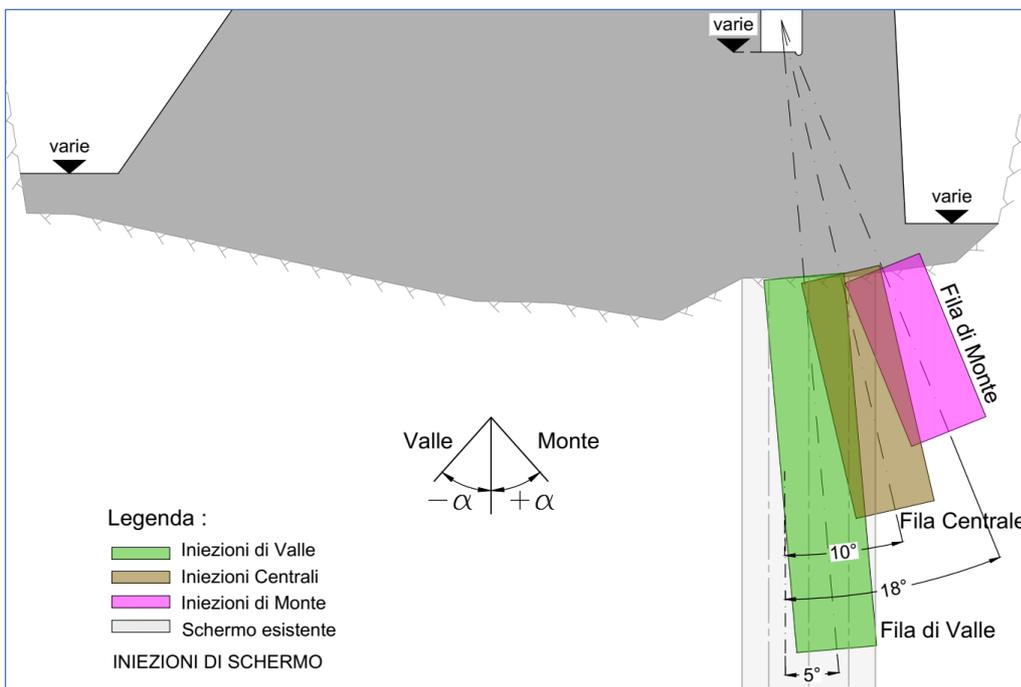


Figura 7 - Intervento di ripristino dello schermo di tenuta: sezione tipo

Propedeuticamente all'intervento, saranno realizzati n. 7 sondaggi dal cunicolo perimetrale nello schermo di tenuta esistente, sia a carotaggio (n. 4 fori, denominati L1c÷L4c) sia a distruzione di nucleo (n. 3 fori, L5w÷L7w).

In questi fori, tutti inclinati di 5° verso monte per intercettare lo schermo di tenuta idraulica esistente, saranno condotte prove di permeabilità tipo Lugeon in avanzamento, ogni 3 m di perforazione.

I risultati dei sondaggi e delle relative prove in foro consentiranno di verificare le condizioni attuali della parte di ammasso consolidato dalle iniezioni per lo schermo di tenuta realizzate alla data di costruzione della diga, e quindi di verificare, tarare ed eventualmente integrare l'intervento di ripristino dello schermo, in termini sia geometrici, sia di parametri esecutivi.

Al termine delle iniezioni di ripristino, saranno infine eseguiti n. 11 fori di controllo, anch'essi inclinati di 5° verso monte e con inclinazioni varie in direzione spalla – spalla, per coprire in modo adeguato la zona di intervento; in questi fori, realizzati a distruzione, saranno pure eseguite prove di permeabilità tipo Lugeon in avanzamento, ogni 3m di perforazione, per

MANDATARIA:

MANDANTI:



controllare l'efficacia dell'intervento di ripristino ed individuare eventuali zone in cui si dovessero rivelare necessarie ulteriori iniezioni fino a garantire la tenuta idraulica dello schermo lungo l'intero tratto di intervento.

La tabella seguente riassume le quantità dei fori di indagine preliminare e di controllo.

Fori preliminari di indagine				
concio	foro	angolo $\alpha$	angolo $\beta$	Lperf.
		[°]	[°]	[m]
3	L1c	5	0	39.5
1	L2c	5	0	49.2
0	L3c	5	0	49.4
2	L4c	5	0	48.3
4	L5w	5	0	52.4
6	L6w	5	0	33.3
8	L73w	5	0	33.5

$\alpha$ : angolo dalla verticale, positivo verso monte  
 $\beta$ : positivo verso sponda dx  
negativo verso sponda sinistra

Fori di controllo				
concio	foro	angolo $\alpha$	angolo $\beta$	Lperf.
		[°]	[°]	[m]
1	C1w	8	-35	33.15
0	C2w	8	-35	38.25
	C3w	8	-35	40.4
	C4w	8	35	58.5
2	C5w	8	5	56.15
	C6w	8	-35	55.6
	C71w	8	35	35.4
4	C8w	8	35	31.9
6	C9w	8	35	29.4
8	C10w	8	35	27.35
	C11w	8	35	19

*Tabella 6 - Fori di indagine preliminare e di controllo per l'intervento di ripristino dello schermo di tenuta*

La tavola di progetto 2020\_0416\_002\_STR\_D003 rappresenta i fori di indagine preliminare e di controllo finale di cui sopra.

## **10.2 Iniezioni di cucitura**

Per consolidare l'ammasso roccioso sotto la fondazione dei conci più critici, si prevede un intervento di cucitura da realizzarsi mediante iniezioni cementizie.

L'intervento interesserà, in particolare, i conci rivelatisi più critici alla luce delle evidenze strumentali a partire dal 2004-2005 (come per altro confermato anche dalle analisi di calcolo presentate nella relazione sulla stabilità della diga facente parte del presente progetto di fattibilità, per via della levata pendenza del piano di imposta in direzione spalla – fondo alveo), vale a dire i conci 4, 6 e 8 in sponda destra.

Le iniezioni saranno spinte a una profondità di 8 m sotto il piano di fondazione della diga, e saranno eseguite in parte dal cunicolo perimetrale, in parte dal paramento di valle, con inclinazioni diverse rispettivamente verso valle e verso monte, tali da realizzare, in ogni sezione, delle "raggere" atte a interessare l'intero volume di ammasso roccioso sotto la fondazione, entro la profondità di intervento suddetta.

La figura seguente riporta uno schema esplicativo dell'intervento (la figura è uno stralcio della tavola di progetto 2020\_0416\_002\_STR\_D006, riferita nello specifico al concio 4, ma ha valenza generale).

MANDATARIA:

MANDANTI:

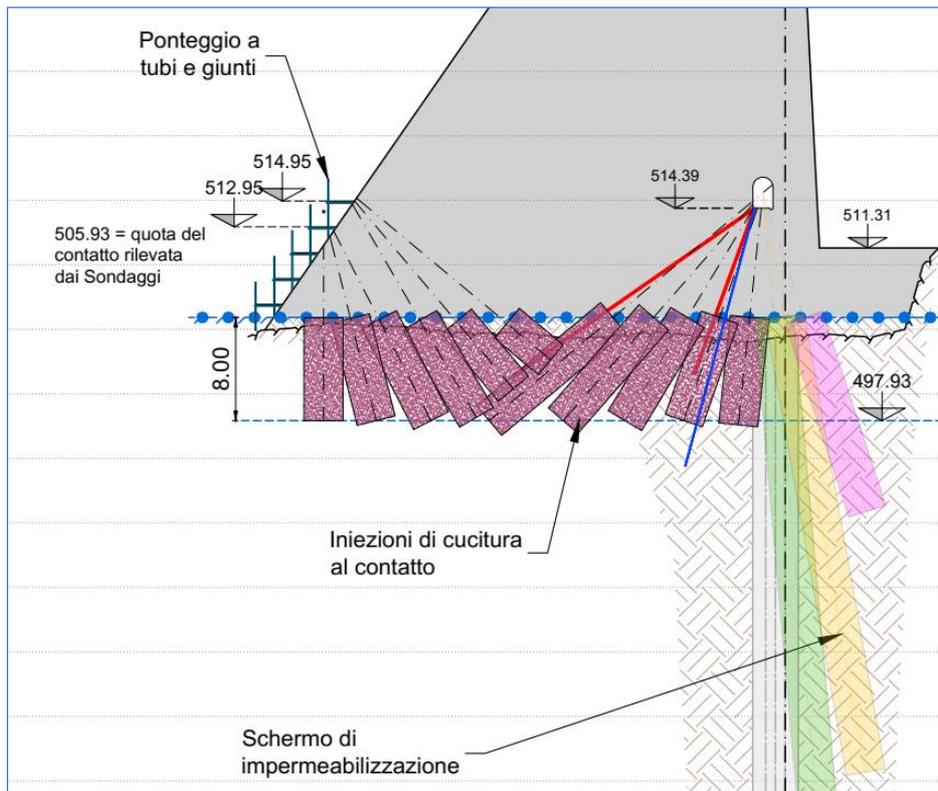


Figura 8 - Intervento di cucitura in fondazione – Schema di esempio

Le iniezioni di contatto saranno realizzate prima di quelle di schermo di tenuta, almeno per quanto riguarda quelle da eseguire da cunicolo. Quelle da eseguire dal paramento di valle potranno essere eseguite anche in una fase successiva, dopo aver completato le iniezioni da cunicolo, ma prima di realizzare le perforazioni per i dreni ed i piezometri previsti nell'ambito del presente progetto.

La miscela da iniettare sarà pari al 3% di  $V_1$  da iniettare nel rispetto di una pressione massima di iniezione pari a 10 bar. Si prevede di utilizzare una miscela confezionata con cemento 52.5 MPa con rapporto  $c/a=1$ . In caso di assorbimenti elevati e pressioni di iniezione modeste, si potrà ricorrere a miscele con rapporto  $c/a$  maggiore. La parte più superficiale dei fori, per una profondità di almeno 2 metri dovrà essere cementata con miscela confezionata con cemento 52.5 MPa avente rapporto  $c/a=1.5$  e additivo fluidificante con funzione antiritiro.

Nel corso delle iniezioni di contatto si dovranno tenere sotto controllo gli eventuali rientri d'acqua a valle, in modo da controllare che la miscela iniettata non venga dilavata e trasportata a valle. Altresì si dovrà controllare che non vi siano fuoriuscite di miscela in superficie.

### 10.3 Rifacimento dello schermo di drenaggio

Al termine delle iniezioni di cucitura e di ripristino dello schermo di tenuta, si procederà al rifacimento dello schermo di drenaggio di tutti i conci dello sbarramento, aumentando sia la quantità sia il diametro dei fori ( $\varnothing$  152mm) rispetto a quelli

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



esistenti (diametro  $\varnothing = 35\text{mm}$  stando alla documentazione della diga messa a disposizione degli Scriventi, in particolare il Foglio Condizioni di Esercizio e Manutenzione) e incrementando quindi la capacità di drenaggio.

I dreni saranno realizzati dal cunicolo perimetrale con inclinazione di  $15^\circ$  verso valle e lunghezza è compresa fra 12m e 22 m (proiezione verticale), tale da garantire circa 9m sotto il contatto roccia-calcestruzzo, e crescente procedendo dalle spalle verso il centro diga (fondo valle).

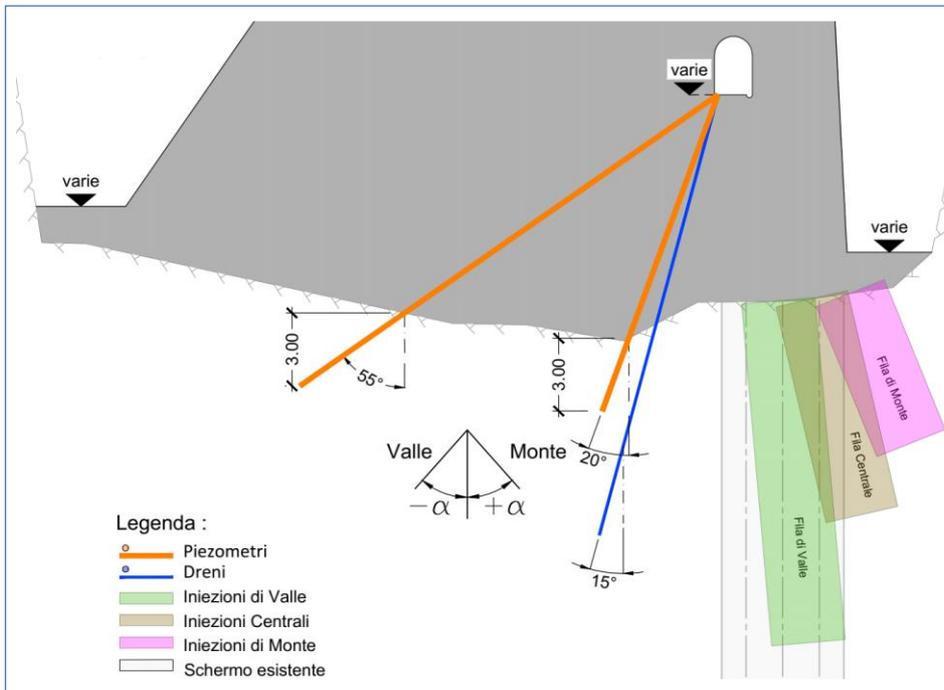


Figura 9 - Nuovi dreni in fondazione – Sezione tipo

L'interasse fra i nuovi dreni in progetto sarà di 2.00 m (n. 7-8 dreni per concio). A questo proposito, il capitolo D.2.2.1 del D.M. 26 giugno 2014 prescrive che i drenaggi in fondazione abbiano un diametro non minore di 200mm e un interasse massimo di 2.50m. Tuttavia, le dimensioni del cunicolo sono tali da poter far operare delle sonde di modesta potenza per cui il diametro massimo che si riesce ad utilizzare è di 152mm per perforazioni della profondità prevista. Per tenere conto della ridotta superficie drenante dei fori da 152mm rispetto ai fori da 200mm, l'interasse è stato ridotto da 2.50m a 2.00m. Già lo studio di fattibilità di Balossi Restelli indicava come il diametro di perforazione di 152mm e un interasse tra i dreni di 2.0m garantiscano una superficie drenante praticamente invariata rispetto a quella prescritta dal D.M. 26 giugno 2014. Si prevede di mantenere il diametro 152mm per l'intera lunghezza dei dreni.

Allo scopo di tenere un interasse regolare di circa 2m, i dreni potranno essere eseguiti sia sui pianerottoli sia sui singoli gradini. Le modalità esecutive per la realizzazione dei drenaggi saranno:

- demolizione del gradino di calcestruzzo in corrispondenza di ciascun drenaggio di dimensioni 130x17x30cm, come illustrato nel particolare della tavola di progetto;
- perforazione a rotazione con corona diamantata  $\varnothing 180\text{mm}$  del tratto iniziale (per una lunghezza  $L=0.5\text{m}$ ) all'interno del calcestruzzo per successivo inserimento del tubo zincato da 6";

MANDATARIA:

MANDANTI:



- perforazione Ø152mm a rotopercolazione ad acqua con sistema tipo Wassara per tutta la lunghezza di progetto del drenaggio (in alternativa l'impresa potrà eseguire le perforazioni a rotazione con corona diamantata, considerando però che questo comporterebbe un notevole aumento delle tempistiche); incamiciatura del tratto superiore del dreno con tubo zincato di diametro Ø6" e lunghezza 0.5m, e cementazione dello stesso alle pareti del foro con malta a ritiro compensato;
- installazione della raccorderia esterna del dreno collegata al tubo zincato da 6" (riduzione da 6" a 2", TEE da 2", tappo da 2", tubo da 2" per scarico in canaletta) e del gradino in lamiera zincata.

Con la predisposizione del tappo in sommità al tubo da 6" si potrà periodicamente procedere all'ispezione con telecamera dei tubi di drenaggio ed alla loro eventuale pulizia. Ai fini della funzione drenante dello schermo è prevedibile che l'interasse di progetto di 2m tra i fori di drenaggio rispetto a quello previsto dalla normativa di 2,50m sia anche più efficace in quanto intercetta un maggior numero di fessure.

Nelle tavole 2020\_0416\_002\_STR\_D\_002 e D004 è illustrato l'intervento di rifacimento dei dreni in pianta, profilo e sezioni; la tavola D riporta particolari esecutivi e della raccorderia.

#### **10.4 Nuova rete di controllo piezometrico**

Saranno realizzati n. 50 nuovi piezometri nei conci dall'11 al 12, e più in particolare:

- conci 9÷10: n. 4 piezometri/concio;
- conci 11 e 12: n. 4 piezometri/concio.

Come illustrato nelle tavole di progetto 2020\_0416\_002\_STR\_D002 e D004 (e come si può vedere anche nella soprastante **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, riferita ai dreni ma che mostra anche i piezometri), i nuovi piezometri saranno posizionati a coppie e inclinati verso valle rispettivamente di 20° e 55° in modo tale da misurare la sottopressione in corrispondenza dello schermo drenante e più a valle, all'incirca a metà concio in modo tale da poter ricostruire l'andamento in direzione monte-valle delle sottopressioni alla base di ciascun concio.

I piezometri dovranno raggiungere una profondità, sulla verticale, di circa 3m al di sotto del contatto roccia-calcestruzzo. In fase di perforazione, nel caso in cui il contatto roccia-calcestruzzo dovesse risultare a profondità differenti rispetto quanto indicato sulle tavole di progetto, si dovrà tener conto di questo aspetto e modificare la lunghezza di perforazione di conseguenza. Le modalità esecutive per la realizzazione dei piezometri sono:

- perforazione a rotazione con corona diamantata Ø140mm del tratto iniziale (L=0.5m) all'interno nel calcestruzzo per successivo inserimento del tubo zincato da 4";
- perforazione Ø92mm a rotazione con corona diamantata per tutta la lunghezza di progetto (in questa fase l'impresa dovrà registrare la profondità del contatto roccia ÷ calcestruzzo e adeguare quindi la lunghezza di perforazione);
- incamiciatura del tratto superiore del piezometro con tubo zincato di diametro Ø4" e lunghezza 0.5m, e cementazione dello stesso con malta a ritiro compensato;
- installazione della raccorderia esterna del piezometro collegata al tubo zincato da 4" (riduzione da 4" a 2", raccordo a croce da 2" e da 1", rubinetto con valvola a sfera e manometro per la misura manuale delle sottopressioni);

MANDATARIA:

MANDANTI:



Nell'eventualità di voler monitorare in continuo le sottopressioni della diga si potrà installare un trasduttore elettrico di pressione, calato con il proprio cavo all'interno del foro e sospeso ad una quota tale che non sia a contatto con il fondo. Il trasduttore è costituito da un corpo cilindrico in acciaio inossidabile contenente la camera idraulica, il sistema elettrico di trasduzione (membrana ed estensimetri strain-gauges) e la terminazione del cavo. I trasduttori avranno le seguenti caratteristiche: fondo scala 800-1000 kPa, precisione 0.3% del fondo scala; inoltre, dovranno essere collegati all'unità di acquisizione dati per la loro registrazione, e per la gestione e la trasmissione automatica delle letture alla sede operativa di Cagliari.

## **10.5 Chiavi di taglio**

Le analisi riportate nella relazione di progetto "Stabilità della diga – Relazione di calcolo" (elaborato 2020\_0416\_STR\_R001) hanno mostrato come anche avendo messo in atto gli interventi di ripristino dello schermo di tenuta, rifacimento dei dreni (ipotesi di massima efficienza dei drenaggi consentita dalla normativa) e consolidamento in fondazione, le condizioni di stabilità della diga in sponda destra non sono verificate coi margini di sicurezza minimi richiesti dalla Normativa di riferimento attuale.

Le stesse analisi mostrano come per garantire la stabilità della diga risulti necessario solidarizzare fra loro alcuni conci della sponda destra (in particolare: conci 2, 4, 6 e 8), in modo che possano ripartire le riserve di resistenza trasmettendo forze di taglio in corrispondenza dei giunti.

A tale fine si prevede dunque di realizzare delle chiavi di taglio in corrispondenza dei giunti 2-4, 4-6, 6-8, tali da garantire la trasmissione delle azioni di taglio necessarie, risultanti dalle analisi di verifica suddette.

Le chiavi di taglio saranno costituite da due diversi interventi lungo i giunti suddetti, secondo quanto illustrato nella successiva **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (riferita al giunto 4-6 ma valida in generale, come schema di intervento, a meno delle quantità che variano nei giunti interessati).

- pali verticali in calcestruzzo armato di diametro  $\varnothing$  700 mm realizzati dal coronamento;
- micropali inclinati di diametro  $\varnothing$  perf 300 mm, realizzati dal paramento di valle.

MANDATARIA:

MANDANTI:

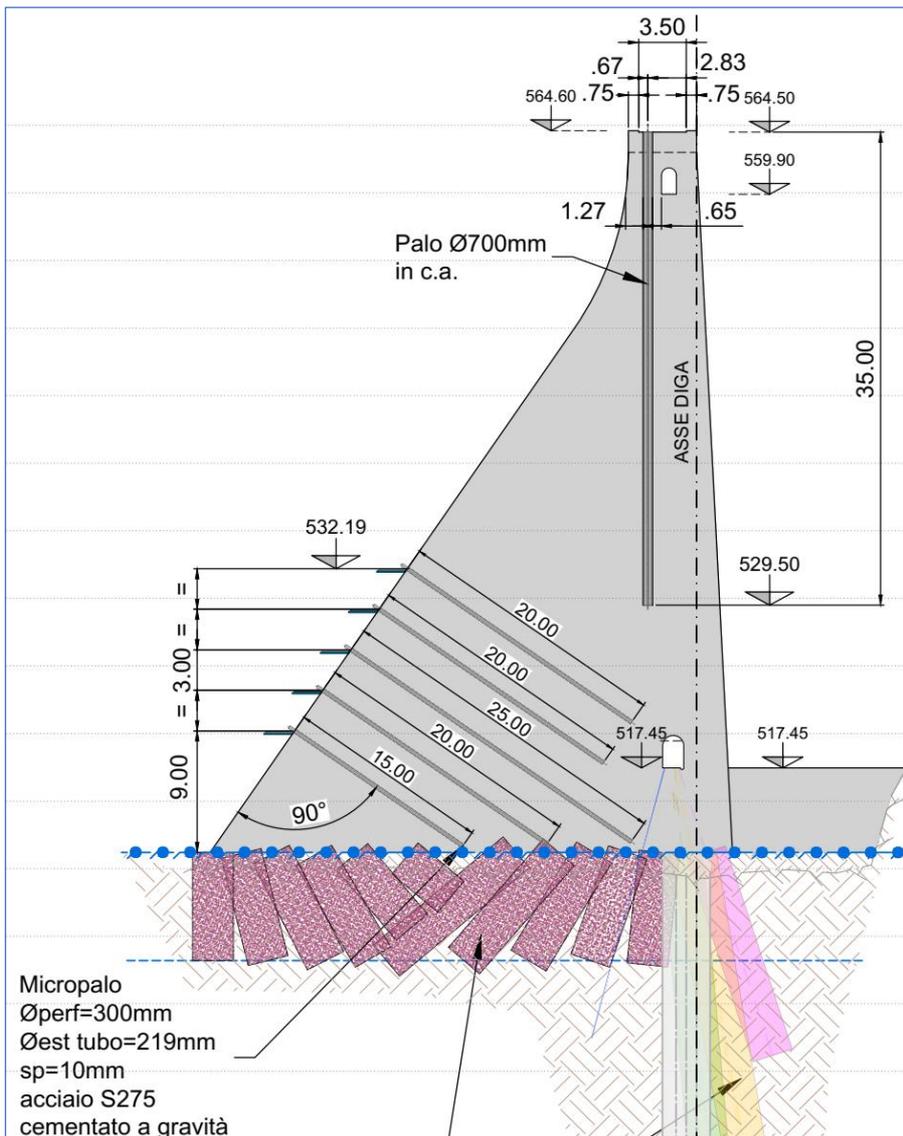


Figura 10 - Chiavi di taglio: sezione (giunto fra i conci 4 e 6)

### 10.5.1 Pali verticali dal coronamento

I pali avranno lunghezza pari a 25 m nel giunto 6-8 e 35 m nel giunto 4-6; nel giunto 2-4 non è previsto questo tipo di intervento, che per altro risulterebbe non realizzabile per via del passaggio, in corrispondenza dello stesso giunto, dai conci tracicabili a quelli non tracicabili.

I fori saranno posizionati esattamente a cavallo del giunto (in modo, cioè, che il diametro monte-valle del palo sia esattamente allineato al giunto), a valle del cunicolo superiore e a distanza dallo stesso tale da evitare interferenze.

La disposizione verticale dei pali ottimizza la loro capacità di resistenza a taglio nella direzione monte-valle, e quindi di contrasto ai carichi agenti nella stessa direzione (spinte dell'acqua).

La sequenza esecutiva si articolerà come segue:

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

**TECINTAL**

**Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

**Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



1. perforazione mediante una macchina perforatrice che procederà eventualmente con un foro pilota di diametro inferiore, alesato successivamente fino al diametro di progetto (700 mm);
2. al termine della perforazione, allestimento, sul coronamento, di un sistema elevatore atto a calare fino a fondo foro un carrello in grado di portare piccoli macchinari e attrezzature, necessari alle fasi esecutive successive;
3. calaggio, mediante il suddetto carrello, di una telecamera per ispezione visiva delle pareti del foro stesso;
4. ancora con lo stesso carrello, calaggio nel foro un apposito macchinario atto a spruzzare un prodotto sigillante sulle aperture del giunto lungo l'intera lunghezza del foro, in modo da evitare perdite di miscela durante il getto, e quindi una cattiva riuscita del palo e un malfunzionamento dello stesso come chiave di taglio.
5. allo stesso modo, calaggio di una macchina idrodemolitrice atta a scarificare la superficie di una metà del foro (cioè solo sulla parete di uno dei due conci afferenti al giunto in questione);
6. verniciatura della metà opposta del foro (appartenente all'altro concio afferente al giunto) con un prodotto disarmante.

Le attività previste nelle fasi 5 e 6 sono mirate a far sì che il palo, dopo il getto, si ancori a un concio ma non all'altro, in modo da salvaguardare il funzionamento a giunto aperto consentendo espansioni del giunto stesso durante l'esercizio della diga, legate alle normali dilatazioni / contrazioni dovute ai cicli di escursione termica e alle variazioni della quota di invaso nel bacino.

7. inserimento dell'armatura nel foro;
8. getto del calcestruzzo.

#### 10.5.2 Micropali dal paramento di valle

I micropali saranno realizzati dal paramento di valle, mediante una sonda che opererà su una struttura metallica opportunamente dimensionata, con piani di lavoro alle quote di testa dei micropali; sul paramento di valle sarà installato un sistema a binario inclinato per il trasporto di attrezzature e personale fino alla quota di lavoro.

I micropali avranno le seguenti caratteristiche:

- $\varnothing_{\text{perf}} = 300 \text{ mm}$  diametro di perforazione
- inclinazione perpendicolare al paramento di valle;
- lunghezza compresa fra 15 m e 25 m (secondo quanto meglio dettagliato nel seguito);
- interasse verticale: 3 m

L'armatura sarà costituita da tubi in acciaio S275 con le seguenti caratteristiche:

- $\varnothing = 219 \text{ mm}$  diametro esterno
- $S = 10 \text{ mm}$  spessore.

Anche i micropali saranno posizionati esattamente a cavallo del giunto, come i pali da coronamento; dovrà essere predisposto un sistema di controllo dell'inclinazione delle perforazioni per garantire il mantenimento di tale allineamento, così che non perdano efficacia nel resistere alle sollecitazioni taglienti lungo il giunto.

MANDATARIA:

MANDANTI:



I micropali saranno avvolti da un sacco in tessuto prefabbricato tipo "Bullflex" o affine, con funzione di camicia attorno al micropalo. In questo modo, si eviterà la dispersione di miscela lungo il giunto e si garantirà allo stesso tempo il funzionamento a giunto aperto durante l'esercizio della diga, che non sarà mai interrotto.

La tabella seguente riporta una distinta degli interventi, per le due tipologie, nei giunti interessati.

giunto	micropali da paramento di valle			pali da coronamento		
	n [-]	quota testa [m slm]	L [m]	n [-]	quota testa [m slm]	L [m]
conci 2-4	6	522.00	25	--	--	--
		519.00	25			
		516.00	25			
		513.00	25			
		510.00	20			
		507.00	15			
conci 4-6	5	532.19	20	1	564.50	35
		529.19	20			
		526.19	25			
		523.19	20			
		520.19	15			
conci 6-8	4	542.43	15	1	564.50	25
		539.43	15			
		536.43	15			
		533.43	15			

Tabella 10-7. Chiavi di taglio : quantità degli interventi previsti

La tavola di progetto 2020\_0416\_002\_STR\_D007 illustra gli interventi in maggiore dettaglio.

## 10.6 Nuovi piezometri esterni

A valle diga saranno eseguiti alcuni nuovi piezometri a foro nudo allo scopo di monitorare la piezometrica a valle dei conci e in tal modo verificare l'eventuale presenza di circuitazioni al largo o sottopressioni anomale al di sotto dei conci. Il numero di piezometri e la posizione precisa verrà decisa al termine dei lavori in funzione anche della risposta dello schermo di drenaggio e delle letture piezometriche di piezometri del cunicolo, in modo tale da tenere sotto controllo i conci più critici. I piezometri saranno realizzati con perforazione a rotopercolazione ad acqua (sistema Wassara) con diametro Ø92mm e lunghezza 20m circa; in funzione dell'integrità della roccia, si valuterà se rivestire il foro con un tubo microfessurato. Le misure di sottopressione ai nuovi piezometri esterni, combinate alle misure dei piezometri ubicati all'interno della diga, permetteranno di tracciare l'andamento della linea piezometrica, in direzione monte-valle, per differenti livelli di invaso. Queste elaborazioni consentiranno quindi di effettuare un confronto del comportamento del regime idraulico che regola le sottopressioni prima e dopo gli interventi di ripristino dello schermo impermeabile, allo scopo di valutare ulteriormente l'efficienza degli interventi stessi.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## 11 CANTIERIZZAZIONE

L'individuazione degli spazi da adibire a cantiere è stata svolta tenendo conto di: dimensione areale; interferenze con il regolare svolgimento delle operazioni legate al mantenimento dell'operatività degli impianti della diga; disponibilità idrica ed energetica; adiacenza alle opere da realizzare; morfologia (evitando, per quanto possibile, pendii o luoghi eccessivamente acclivi, per evitare sbancamenti o riporti di elevata entità); assenza di aree di rilevante interesse ambientale. Sono state così individuate tre distinte zone funzionali per l'esecuzione delle diverse lavorazioni.

Verrà allestito un insediamento autonomo ed indipendente posto nelle vicinanze della casa di guardia al fine di supportare le attività logistiche e di coordinamento delle lavorazioni. Questo consente di organizzare il sistema di allacci di cantiere, utenze idriche, elettriche e scarichi senza interferire con le attività legate alla gestione dell'impianto e con i sistemi di ingresso e uscita agli ambiti della diga. Nell'area è prevista l'installazione di locali uffici distinti per la Direzione Lavori e per la Direzione del Cantiere; area di parcheggio mezzi; servizi; lavaggio automezzi; guardiania; distributore di gasolio; area silos; area per il parziale stoccaggio temporaneo dei materiali; area per il deposito dei materiali da costruzione. Questo sarà il centro di coordinamento principale durante tutta la durata dei lavori.

Per quanto riguarda le lavorazioni sul paramento di valle della diga verranno posizionati in corrispondenza del piazzale posto sulla sponda destra, nella vasca di dissipazione e sul paramento stesso della diga dei sistemi di movimentazione di mezzi, materiali e operatori costituiti da piattaforme e binari in acciaio che consentiranno di far raggiungere ai diversi mezzi e agli operatori coinvolti le quote di progetto definite per le diverse perforazioni. Le piattaforme da utilizzare saranno due: una fissa, dedicata al supporto della macchina perforatrice e una mobile, su binari, a servizio delle attività di movimentazione di materiali e persone. La macchina perforatrice sarà movimentata per mezzo di una gru a torre installata in corrispondenza della vasca di dissipazione, su una fondazione a piastra in calcestruzzo armato che consentirà di ottenere una redistribuzione dei carichi tale da non danneggiare la struttura della diga.

In corrispondenza delle aree di lavoro verranno inoltre installati tutti i sistemi necessari per il funzionamento degli strumenti da utilizzare durante le lavorazioni. Verranno inoltre disposte delle zone di deposito materiali o dedicate ad apprestamenti di cantiere.

Le zone di lavoro in sponda destra saranno raggiungibili tramite una pista di cantiere da realizzare in corrispondenza dell'area a valle della vasca di dissipazione. Tale viabilità sarà costituita da un rilevato che collegherà la strada di servizio esistente al piazzale in destra idraulica a valle del paramento e alla vasca di dissipazione.

Le chiavi di taglio da effettuare sul coronamento della diga in corrispondenza dei giunti 6-8 e 4-6 verranno eseguite tramite una macchina carotatrice che accederà alle zone di lavoro seguendo percorsi definiti sul coronamento stesso e che verranno predisposti specificamente per facilitare il transito dei mezzi e per il trasporto dei materiali da posare in opera. All'interno della diga le lavorazioni saranno eseguite per mezzo di slitte di perforazione di dimensioni adeguate, posizionate nei diversi punti di perforazione tramite tamponamenti in acciaio fissati alle pareti. Le perforazioni saranno eseguite tramite rotopercolazione ad acqua, questa tecnica consentirà di ridurre il rischio legato al sollevamento di polveri in spazi ristretti.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **TECINTAL**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



I mezzi utilizzati durante le varie lavorazioni stazioneranno nelle aree adibite allo stallo situate nel campo base. Il raggiungimento delle aree di lavoro avverrà tramite percorsi specifici che possono essere suddivisi in:

- Pista di accesso alla vasca zona di valle
- Coronamento della diga
- Scala di accesso ai cunicoli.

Tutti i percorsi sono stati definiti in maniera da ridurre le interferenze durante le operazioni di movimentazione all'interno del cantiere.

Alle aree a valle della diga si accederà tramite una strada che dal campo base si collega direttamente alle zone di lavoro mediante una pista che sorgerà nella zona in corrispondenza degli spazi a valle della vasca di dissipazione. Questo collegamento verrà realizzato durante le prime fasi di cantierizzazione e i mezzi e i materiali necessari verranno trasportati lungo la strada esistente. Per facilitare le operazioni di posa verranno individuate delle zone di deposito dei materiali in corrispondenza del piazzale situato sulla sponda sinistra della diga, consentendo ai mezzi di effettuare le operazioni di manovra in sicurezza e di ridurre la complessità delle lavorazioni.

Le perforazioni per la realizzazione del consolidamento del piede di valle verranno realizzate da un ponteggio a tubi e giunti installato sul paramento della diga, montato a seguito dello smontaggio della scala metallica esistente. L'approvvigionamento del materiale necessario per la realizzazione del ponteggio avverrà dalle nuove piste di cantiere. Verranno disposte sul piazzale sulla sponda destra e sulla vasca di dissipazione delle aree di deposito materiali e di stazionamento mezzi mentre la movimentazione delle macchine da lavoro avverrà tramite degli argani posizionati sul ponteggio o a mano.

Il sistema di movimentazione su binari per il supporto delle fasi di realizzazione dei micropali sul paramento verrà installato una volta che le attività di iniezione del sistema di consolidamento consentiranno di iniziare le nuove lavorazioni. I binari potranno essere installati con l'aiuto di un sistema di sollevamento a cestello o utilizzando il ponteggio già presente sul paramento della diga. Sempre con riferimento alla fase di realizzazione dei micropali, la piattaforma di supporto per la perforatrice verrà movimentata tramite una gru a torre posizionata all'interno della vasca di dissipazione e solidarizzata al paramento di valle tramite dei ferri di inghisaggio che verranno precedentemente installati nei punti definiti per il posizionamento della piattaforma alle quote di perforazione. Allo stesso modo verrà movimentata la macchina perforatrice. I materiali e gli operatori che si dovranno dedicare alla realizzazione delle chiavi di taglio si sposteranno tramite la piattaforma di servizio collegata ai binari.

Le lavorazioni all'interno dei cunicoli potranno avvenire in concomitanza con le operazioni di consolidamento di valle in quanto non interferenti. I macchinari necessari potranno essere introdotti all'interno dei cunicoli dagli accessi presenti sulla gradinata di valle. Tutti gli strumenti verranno posizionati nelle zone di lavoro tramite un sistema di argani o a mano. Per far sì che le iniezioni possano essere effettuate correttamente sarà necessario che queste vengano eseguite, per ogni foro, prima della realizzazione della perforazione successiva. Pertanto il sistema di pompaggio dovrà seguire direttamente le slitte di perforazione.

MANDATARIA:

MANDANTI:



**Diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada.  
Manutenzione straordinaria. Sistema di tenuta e di drenaggio e Consolidamento strutturale  
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

Per quanto riguarda le trivellazioni sul coronamento della diga l'accesso alla zona di lavoro avverrà dal coronamento stesso rendendo necessario coordinare l'approvvigionamento dei materiali durante tutte le fasi di realizzazione dei pali visto il limitato spazio a disposizione per il transito dei mezzi

Le fasi operative sono state definite con l'obiettivo di mantenere in esercizio gli impianti collegati al funzionamento della diga.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **REGENTPAG**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneri Consulenti



## 12 CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI

Il cronoprogramma di massima per la realizzazione dei lavori appartenenti al 1° lotto funzionale (schermo di tenuta, di drenaggio e consolidamenti) ed al 2° lotto (chiavi di taglio) è illustrato nel diagramma di Gantt presentato di seguito.

La durata dei lavori del 1° lotto è stata stimata in 12 mesi a partire dalla data di consegna lavori, mentre il 2° lotto in ca. 6 mesi. I due lotti potranno essere gestiti in parallela oppure in sequenza. Il cronoprogramma illustra la situazione di gestione in parallela, dove va evidenziata l'interferenza delle lavorazioni che si svolgono al piede di valle della diga e sulle pareti dei conci C4, C6 e C8. Si dovrà quindi considerare uno sfasamento temporale su uno stesso concio tra la realizzazione delle iniezioni di consolidamento appartenente al 1° lotto e le chiavi di taglio del 2° lotto.

I tempi di realizzazione delle diverse lavorazioni sono stati desunti considerando un numero di postazioni di lavoro (e quindi numero di macchine operative) ed una cadenza di produzione per le perforazioni e le iniezioni calibrati sul contesto particolare del cantiere che si svolgerà in spazi molto esigui nei cunicoli e su versanti impervi a valle della diga.

MANDATARIA:

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

MANDANTI:

 **ASSESSORATO REGIONALE**

 **Metassociati**  
architettura ingegneria urbanistica

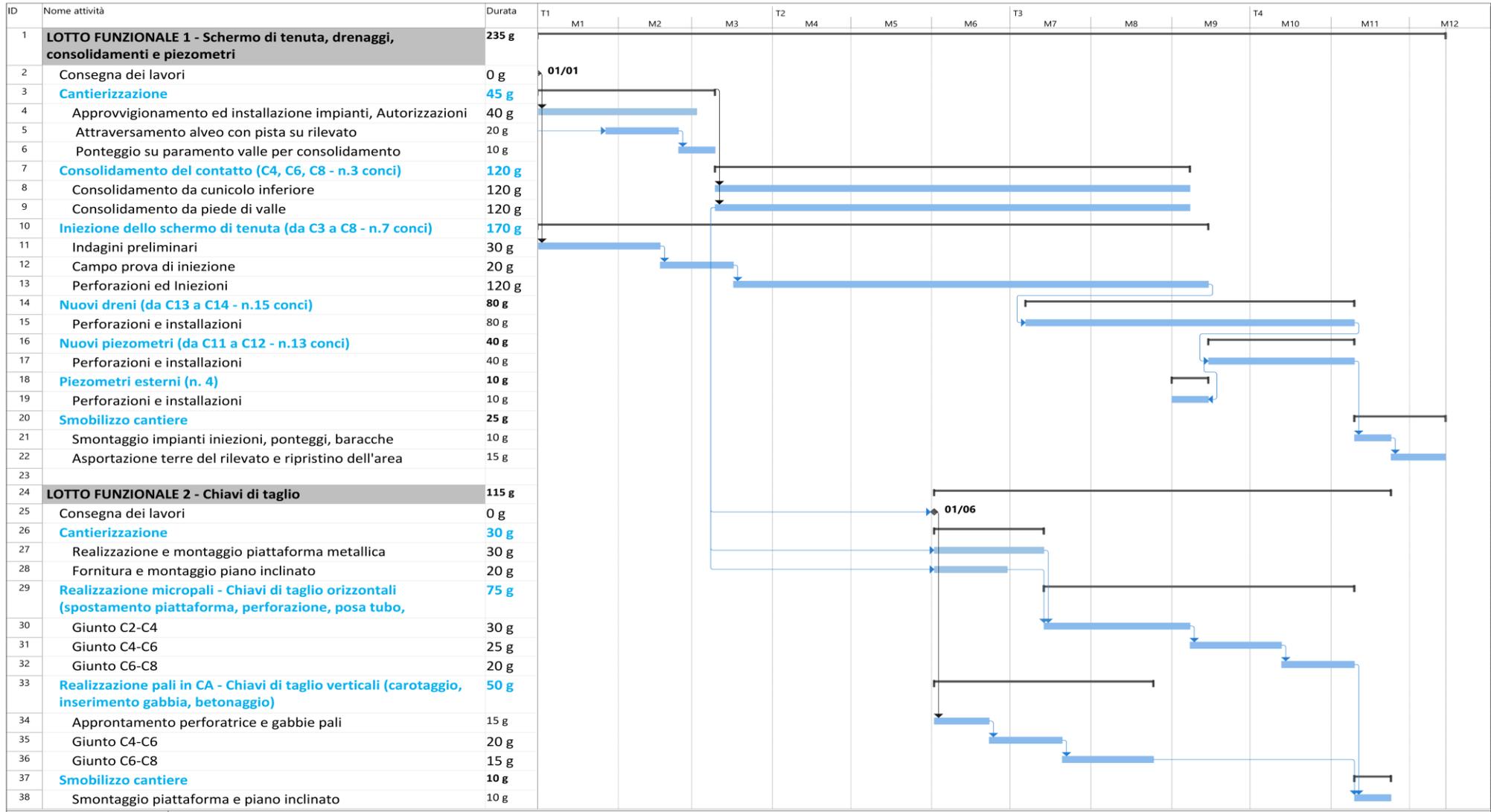
 **Lombardi**  
Lombardi SA Ingegneria Consulenti



**Diga di Monte Lerno sul Rio Mannu di Pattada.  
Manutenzione straordinaria. Sistema di tenuta e di drenaggio e Consolidamento strutturale**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

2020\_0416\_002\_GEN\_R001\_0 RELAZIONE GENERALE





## 13 STIMA SOMMARIA DELLE OPERE

Per il calcolo sommario delle opere, un computo completo delle quantità è stato realizzato. I costi delle lavorazioni invece sono stati assunti pari a quelli considerati da Balossi Restelli per gli interventi del 1° lotto, mentre per il 2° lotto, si è fatto riferimento ai seguenti prezzi per le voci classiche, mentre per le lavorazioni particolari i costi sono stati stimati sulla base dell'esperienza degli scriventi ed in analogia a lavorazione simile:

- Regione Autonoma della Sardegna - Prezziario Opere Pubbliche 2019;
- ANAS - Listino Prezzi 2020. Nuove costruzioni. Manutenzione straordinaria.

Capitoli	Descrizione	TOTALE PREZZI
<b>LOTTO FUNZIONALE 1 - Schermo di tenuta, drenaggi, consolidamenti e piezometri</b>		
1.1	INIEZIONI SCHERMO DI MONTE	€ 1.370.778,32
1.2	INDAGINI PRELIMINARI E CONTROLLI FINALI	€ 192.957,79
1.3	NUOVI DRENI	€ 417.557,87
1.4	NUOVI PIEZOMETRI	€ 161.383,41
1.5	PIEZOMETRI ESTERNI	€ 33.474,09
1.6	CONSOLIDAMENTO AL CONTATTO	€ 688.391,04
1.7	ATTRAVERSAMENTO ALVEO (PISTA IN RILEVATO)	€ 141.313,75
<b>TOTALE</b>		<b>€ 3.005.856,27</b>
<b>ONERI DELLA SICUREZZA</b>		<b>€ 187.000,00</b>
<b>TOTALE LOTTO 1</b>		<b>€ 3.192.856,27</b>
<b>LOTTO FUNZIONALE 2 - Chiavi di taglio</b>		
2.1	CHIAVI DI TAGLIO - MICROPALI	€ 195.915,20
2.2	CHIAVI DI TAGLIO - PALI IN CA	€ 103.736,08
2.3	PIATTAFORMA DI LAVORO ANCORATA AL PARAMENTO	€ 60.000,00
2.4	PIANO INCLINATO	€ 60.000,00
<b>TOTALE</b>		<b>€ 419.651,28</b>
<b>ONERI DELLA SICUREZZA</b>		<b>€ 25.000,00</b>
<b>TOTALE LOTTO 2</b>		<b>€ 444.651,28</b>
<b>TOTALE COSTO DELLE OPERE LOTTO 1 + LOTTO 2</b>		<b>€ 3.637.507,55</b>