

Regione Autonoma della Sardegna
Assessorato dell'Agricoltura e Riforma Agro-Pastorale



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE
ORISTANO



PROGETTO ESECUTIVO

CUP. G88H23000020007 - CAT. P0418

Primo Lotto Funzionale

*Interventi di manutenzione straordinaria per la messa in sicurezza
dello sbarramento collinare in localita' "Mura Cabonis" in agro di Milis*

Elaborato:

Relazione generale

1658P0418_L1_relgenRev_01GZ

All.

A

n° prog.

Coordinatore per la progettazione
ing. Gian Luca Zuddas

V.il Resp. del procedimento
ing. Giorgio Bravin

Gruppo di progettazione
Studio Chiarini Associati
ing. Massimo Sanna
geol. Simone Manconi
ing. Andrea Murrancu

Scala

Data **Febbraio 2023**

Rev. **01**



Sommario

1. Premessa	1
2. Iter istruttorio.....	3
3. Inquadramento della diga di Mura Cabonis	5
3.1 - Inquadramento territoriale.....	5
3.2 – Inquadramento idrologico	10
3.3 – Descrizione dello sbarramento	11
4. Schema idraulico	13
5. Stato di fatto	15
5.1 – Perdite sul paramento di valle.....	15
5.2 – Sfiatore superficiale	16
5.3 – Canale fuggatore.....	17
5.4 – Pozzetto di mandata “Murdegu”.....	18
5.5 – Scarico di fondo	19
5.6 – Altri elementi	19
6. Interventi del progetto generale.....	21
6.1 – Impermeabilizzazione del paramento di monte	21
6.1.1 - Preparazione dello strato di sottofondo del manto impermeabile.....	22
6.1.2 - Stesa dei nuovi strati di conglomerato bituminoso.....	24
6.1.3 - Compattazione degli strati in conglomerato bituminoso	25
6.1.4 - Realizzazione del taglione in c.a. (cutoff) e collegamento inferiore del manto di tenuta	26
6.1.5 - Collegamento superiore del manto di tenuta al cordolo in corrispondenza del coronamento	27
6.1.6 - Sigillo superficiale	27
6.2 – Ricarica del coronamento e risagomatura dei paramenti	28
6.3 – Adeguamento dello sfioratore superficiale e del canale di imbocco.....	28
6.4 – Rifacimento canale fuggatore	29

6.5 – Canale di drenaggio	30
6.6 – Scarico di fondo	30
6.7 – Strumentazione di monitoraggio	30
6.7.1 - Piezometri	31
6.7.2 - Mira	31
6.7.3 - Idrometro	31
6.8 – Interventi complementari.....	32
6.8.1 - Misuratori di portata ed elettrovalvole	32
6.8.2 - Parapetto e illuminazione	32
6.8.3 - Illuminazione del corpo diga e del sentiero di accesso alla camera di manovra	33
6.8.4 - Cartelli monitori	34
6.8.5 - Linea elettrica e digitale	35
6.8.6 – Modifica livelletta stradale	35
6.9 – Simulazione fotorealistica delle opere di progetto	35
6.10 – Gestione dei rifiuti	40
6.11 – Espropri.....	40
6.12 – Autorizzazioni.....	40
7. Interventi previsti nel primo lotto funzionale	43

1. Premessa

L'Assessorato dell'Agricoltura e Riforma Agro-Pastorale, nel Programma di sviluppo Rurale 2014 -2020- ha pubblicato il bando per la presentazione delle domande di sostegno relative alla Misura 4 "Investimenti in immobilizzazioni materiali" Sottomisura 4.3" Sostegno a investimenti nell'infrastruttura necessaria allo sviluppo, all'ammodernamento e all'adeguamento dell'agricoltura della silvicoltura".

La sottomisura ha come obiettivo quello di rendere più efficiente l'uso dell'acqua in agricoltura attraverso il risparmio idrico, grazie alla diminuzione delle perdite, e attraverso la realizzazione di investimenti che incidano sulla capacità di accumulo delle acque ai fini irrigui.

Le operazioni finanziate con la sottomisura 4.3.2 riguardano l'ammodernamento, il miglioramento e l'ampliamento di infrastrutture esistenti, nonché la messa in sicurezza dei bacini di accumulo. In tal modo sarà possibile realizzare su larga scala un sistema di infrastrutture idriche che possano interessare tutto il territorio regionale.

Il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese ha in capo la gestione della diga di Mura Cabonis, infatti, il suo invaso viene usato totalmente a scopo irriguo per i territori sottostanti dei comuni di Milis, Tramatzia e all'occorrenza anche di San Vero Milis, Riola Sardo e Nurachi (la rete irrigua di tale area è collegata mediante una condotta alla rete servita dall'invaso).

Nel corso degli anni la diga ha subito un naturale processo di ammaloramento e degrado tanto che si son già resi necessari alcuni interventi volti al ripristino del nucleo centrale di argilla. Nonostante ciò, ad oggi, è possibile osservare alcune perdite sul paramento di valle che rendono d'uopo il presente progetto.

Sulla scorta di quanto sopra si è realizzato un progetto generale i cui interventi permetterebbero la risoluzione della problematica data dalle perdite nonché la rispondenza ai requisiti minimi previsti dalla normativa vigente. Poiché tali interventi richiedono economie al momento non disponibili, si è proceduto con la predisposizione di un primo lotto funzionale..

2. Iter istruttorio

Il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese ha presentato la domanda di sostegno in data 28.02.2018, avente per oggetto la messa in sicurezza dell'invaso di "Mura Cabonis" nel comune di Milis.

Con determinazione del Distretto del Servizio Archiviazione Pagamenti e Controlli FEASR, n.4451 del 08.08.2018 è stata approvata la graduatoria Unica Regionale relativa alla sottomisura 4.3.2.

Tra i soggetti la cui domanda è risultata ammissibile e finanziabile è presente anche quella del Consorzio.

Il progetto esecutivo, approntato entro il settembre 2018, è stato trasmesso in data 02.10.2018 al Servizio Opere Idriche e Idrologiche (S.O.I.) dell'Assessorato dei Lavori Pubblici della Regione Sardegna per la indispensabile approvazione.

Successivamente, esaminati i documenti trasmessi, con nota n. 43530 del 11.12.2018, il S.O.I. richiedeva una serie di integrazioni e modifiche alla documentazione consegnata. Nella stessa nota veniva sollecitata la presentazione di un progetto completo di adeguamento e messa in sicurezza dello sbarramento che ha richiesto laboriose indagini specialistiche di carattere geologico, geofisico e geotecnico.

In data 31.01.2019, il Consorzio di Bonifica dell'Oristanese trasmetteva il progetto esecutivo all'Agenzia Regionale per il sostegno dell'Agricoltura, entro i termini previsti dal bando, allegando una nota con la quale si chiedeva una proroga di 180 giorni.

Tale proroga risultava necessaria al fine di poter ottenere da parte degli Enti competenti le autorizzazioni necessarie all'approvazione del progetto, sulla base di una convocazione di una Conferenza dei Servizi.

In data 29.04.2019 prot. n° 26156 il funzionario di ARGEA incaricato proponeva di accogliere la richiesta del CBO per la presentazione del progetto esecutivo al 03.08.2019.

In data 20.02.2019, redatto il progetto di adeguamento richiesto dal S.O.I., il C.B.O. indiceva specifica conferenza di Servizi decisoria, ai sensi dell'art. 14, c.2, legge n. 241/1990 e s.m.i., da effettuarsi in forma semplificata ed in modalità asincrona ex art. 14-bis, legge n. 241/1990 e s.m.i., al fine di acquisire tutti i pareri necessari per l'esecuzione dell'opera.

Il S.O.I., nei termini previsti per la richiesta integrazioni documentali o chiarimenti, con nota n. 6914 del 28.02.2019, chiedeva sostanziali modifiche al progetto, mostrando inoltre alcune perplessità sulle modalità di intervento proposte. Il procedimento è stato pertanto sospeso in attesa della revisione del progetto.

Il progetto integrato e modificato è stato acquisito dal SOI con prot. n.15285 del 13.05.2019.

Infine, predisposta l'istruttoria, il SOI trasmetteva all'Unità Tecnica Regionale il progetto esecutivo di cui sopra per il parere ai sensi dell'art.31, allegato A, della L.R. 12/20017.

L'Unità Tecnica Regionale, con voto n.209 in occasione della seduta del 30 luglio 2019, preso atto e fatte proprie le prescrizioni individuate nella Monografia Istruttoria predisposta dal SOI, esprimeva parere negativo alla realizzazione delle opere contenute nel progetto trasmesso.

Nello specifico i Redattori condividevano le critiche sulla scelta progettuale utilizzata dal CBO per il risanamento dello sbarramento, finalizzate alla riduzione delle infiltrazioni in corpo diga, attraverso la tecnologia del jet-grouting in corpo diga ritenuta invasiva e dagli esiti incerti. In luogo del jet-grouting, l'U.T.R. suggeriva l'impiego di leganti e conglomerati bituminosi previa regolarizzazione del paramento di monte.

Alla luce di quanto sopra esposto il CBO ha provveduto alla stesura di un nuovo progetto sulla base delle osservazioni e ulteriori prescrizioni formulate da parte dei componenti dell'UTR sul progetto in esame, consegnando gli elaborati al S.O.I. con nota prot. 6194 del 10.06.2021.

Il progetto così modificato è stato, infine, approvato da tutti gli Enti preposti, nonché dall'U.T.R. con voto n.223 del 11.01.2022, prevedendo oltre all'impermeabilizzazione anche una serie di opere necessarie per la conformità alla normativa vigente in materie di dighe.

La presente relazione generale è parte integrante del primo lotto funzionale del suddetto progetto.

.

3. Inquadramento della diga di Mura Cabonis

3.1 - Inquadramento territoriale

Come accennato in premessa, la diga di Mura Cabonis e il suo invaso ricadono all'interno del territorio comunale di Milis, nella provincia di Oristano.

In figura 1 viene riportato uno stralcio di ortofoto con in evidenza i confini comunali. Si può osservare come l'invaso si trovi quasi al confine con i Comuni di Bauladu e di Bonarcado.

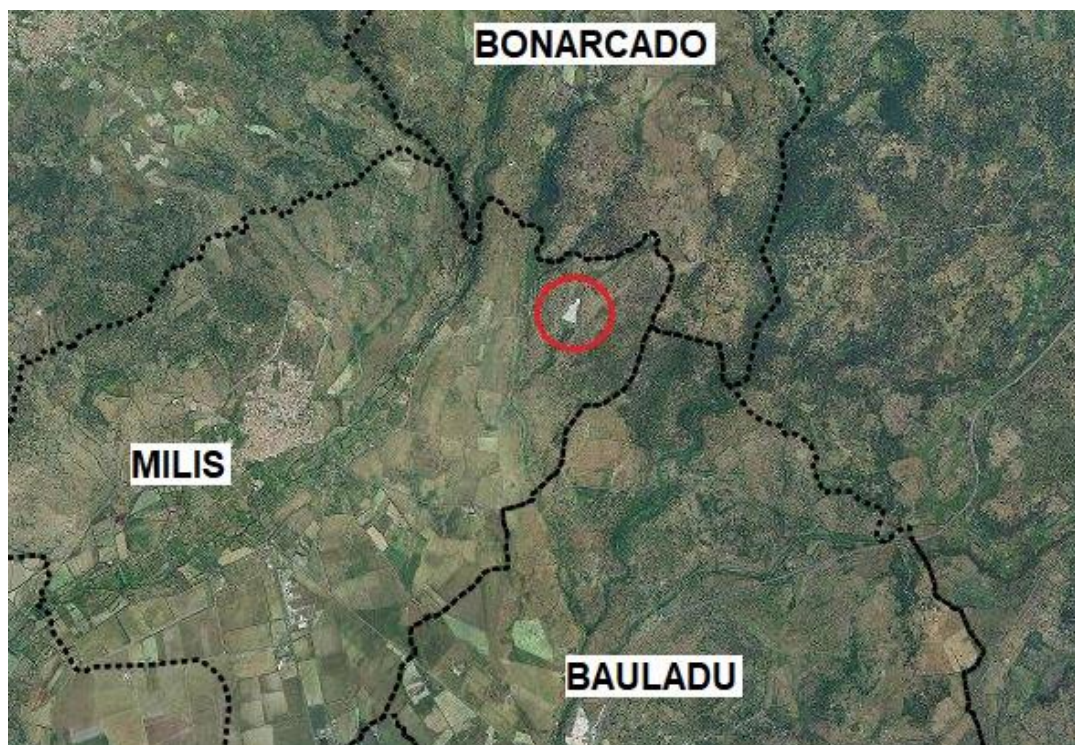


Figura 1 - Ortofoto dell'area di interesse - in rosso la diga di Mura Cabonis

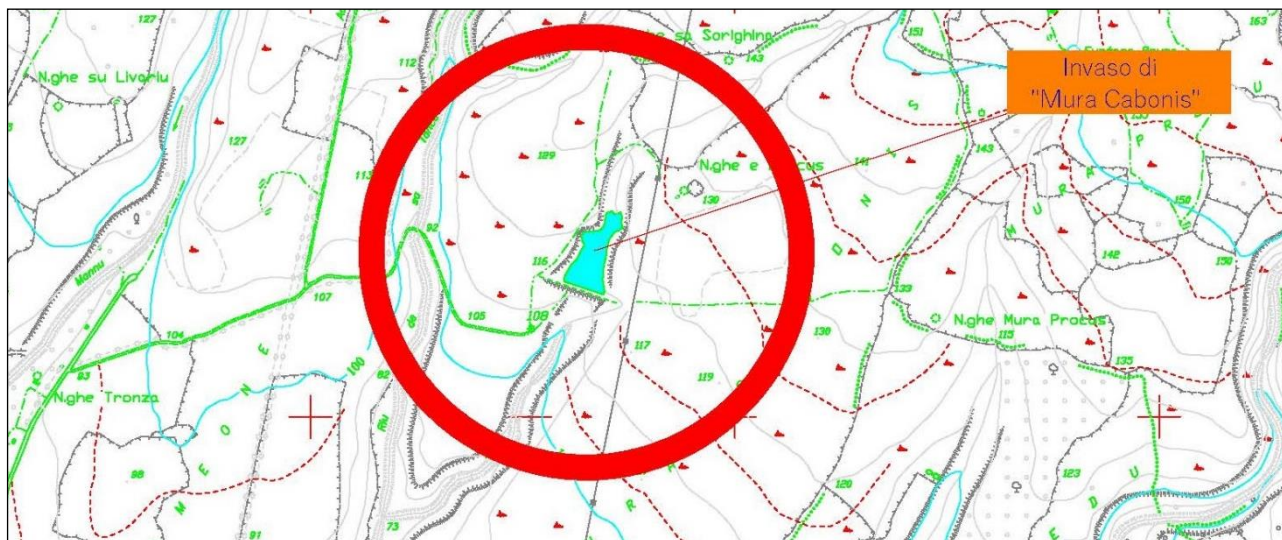


Figura 2 - Stralcio del CTR scala 1:10000

Il comune di Milis è uno dei 26 comuni del Campidano di Oristano e il suo territorio ricade in parte all'interno dell'ambito di paesaggio n°9 Golfo di Oristano, in parte all'interno dell'ambito di paesaggio n°10 Montiferru e, in parte, all'esterno degli ambiti di paesaggio. In particolare, come si evince dalla figura 3 in cui è riportato un estratto della Tavola 1.1 “Ambiti di Paesaggio” del Piano paesaggistico Regionale, la diga Mura Cabonis è esterna agli ambiti di paesaggio 9 e 10.



Figura 3 - Estratto della Tavola 1.1 “Ambiti di Paesaggio” del Piano paesaggistico Regionale, con ubicazione della diga di Mura Cabonis

In figura 4 è rappresentata l'ubicazione dello sbarramento di Mura Cabonis su un estratto della “*Cartografia degli Ambiti di paesaggio costieri – tavola 514_I*” in scala 1:25'000 del Piano Paesaggistico Regionale approvato con D.G.R. n° 36/7 del 5 settembre 2006, dal quale si evince che il paramento di valle dello sbarramento della diga interessa aree classificate dal P.P.R. come “***Vegetazione a macchia e in aree umide***”, appartenente alle *componenti di paesaggio con valenza ambientale* dei **beni paesaggistici ambientali ex art. 142 del D. Lgs 42/2004**, mentre il paramento di monte ricade all'interno di un'area classificata come “***Laghi naturali, invasi artificiali, stagni, lagune***”, appartenente ai **beni paesaggistici ambientali ex art. 143 del D. Lgs 42/2004**.


BENI PAESAGGISTICI AMBIENTALI EX ART. 143 D.Lgs. N°42/04 e succ. mod.

- Fascia costiera
- Sistemi a baia e promontori, falesie e piccole isole
- Campi dunari e sistemi di spiaggia
- Zone umide costiere
- Aree a quota superiore ai 900 m s.l.m.
- Aree rocciose di cresta
- Laghi naturali, invasi artificiali, stagni, lagune
- Fiumi, torrenti e altri corsi d'acqua

- Praterie e formazioni steppiche
- Praterie di posidonia oceanica
- Aree di ulteriore interesse naturalistico:
 - Aree di notevole interesse faunistico
 - Aree di notevole interesse botanico e fitogeografico
- Grotte, caverne
- Alberi monumentali
- Monumenti naturali istituiti l.r. 31/89

BENI PAESAGGISTICI AMBIENTALI EX ART. 142 D.Lgs. N°42/04 e succ. mod.

- Parchi e aree protette nazionali l.q.n. 394/91
- Vulcani
- Boschi e foreste (Art. 2 Comma 6 D.Lgs. 227/01)
- Aree gravate da usi civici

COMPONENTI DI PAESAGGIO CON VALENZA AMBIENTALE

Dalla carta dell'Uso del Suolo 1:25.000

AREE NATURALI E SUBNATURALI

- Vegetazione a macchia e in aree umide
- Aree con vegetazione rada > 5% e < 40%; formazioni di ripa non arboree; macchia mediterranea; letti di torrenti di ampiezza superiore a 25 m; paludi interne; paludi salmastre; pareti rocciose.

- Boschi
- Boschi misti di conifere e latifoglie; boschi di latifoglie.

AREE SEMINATURALI

- Praterie
- Prati stabili; aree a pascolo naturale; cespuglieti e arbusteti; gariga; aree a ricolonizzazione naturale.
- Sugherete; castagneti da frutto

AREE AD UTILIZZAZIONE AGRO-FORESTALE

- Colture specializzate e arboree
- Vigneti; Frutti e frutti minori; oliveti; colture temporanee associate all'olivo; colture temporanee associate al vigneto; colture temporanee associate ad altre colture permanenti.
- Impianti boschivi artificiali
- Boschi di conifere; Pioppeti, saliceti, eucalitteti; altri impianti arborei da legno; arboricoltura con essenze forestali di conifere; aree a ricolonizzazione artificiale.
- Colture erbacee specializzate, aree agroforestali, aree incolte
- Seminativi in aree non irrigue; prati artificiali; seminativi semplici e colture orticole a pieno campo; risaie; viali; colture in serra; sistemi colturali e particellari complessi; aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti; aree agroforestali; aree incolte.

BENI PAESAGGISTICI EX ART. 143 D.Lgs. N°42/04 e succ. mod.
AREE CARATTERIZZATE DA EDIFICI E MANUFATTI DI VALENZA STORICO - CULTURALE

- Aree caratterizzate da preesistenze con valenza storico culturale

BENI DI INTERESSE PALEONTOLOGICO
LUOGHI DI CULTO DAL PREISTORICO ALL'ALTO MEDIOEVO

- Circolo megalitico
- Fonte-pozzo
- Menhir
- Tempio
- Tophet

AREE FUNERARIE DAL PREISTORICO ALL'ALTO MEDIOEVO

- Allée couverte
- ⊗ Dolmen
- Tomba
- Betilo
- Domus de janas
- Grotta
- Cimitero
- Sepoltura
- ⊕ Ipogeo funerario
- ⊕ Necropoli
- Tomba dei giganti

INSEDIAMENTI ARCHEOLOGICI DAL PRENEURAGICO ALL'ETA' MODERNA, COMPRENDENTI SIA INSEDIAMENTI TIPO VILLAGGIO, SIA INSEDIAMENTI DI TIPO URBANO, SIA INSEDIAMENTI RURALI

- Abitato
- Anfiteatro
- ▲ Capanne
- Rinvenimenti
- Terme
- Cava
- Cisterna
- Complesso
- Ruderi
- ◆ Villaggio
- Deposito
- Inseediamento
- Nuraghe
- Presenza preneuragica
- Grotta riparo

Figura 4 - Piano Paesaggistico Regionale approvato con D.G.R. n° 36/7 del 5 settembre 2006. Estratto della "Cartografia degli Ambiti di paesaggio costieri – tavola 514_I" in scala 1:25'000, con ubicazione della diga di Mura Cabonis (in rosso)

In figura 5 è riportata invece la sovrapposizione tra l'invaso di Mura Cabonis e la Tav. 2.1 "Tavola di insieme" (Fogli 514 II e 515 III) del Piano Paesaggistico Regionale approvato in via preliminare con delibera della Giunta Regionale n. 45/2 del 25 ottobre 2013, dal quale si evince che il paramento di valle dello sbarramento della diga interessa aree tutelate per legge e classificate come *"Territori coperti da foreste e da boschi, ancorché percorsi o danneggiati dal fuoco, e quelli sottoposti a vincolo di rimboschimento, come definiti dal D.Lgs. 227/01"* di cui all'art. 142, comma 1 lettera g) del D.Lgs. 42/2004.

Preme inoltre precisare che, secondo quanto risulta dalla predetta sovrapposizione, lo sbarramento e l'invaso non interessano aree in cui è presente il vincolo relativo ai *"Fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con R.D. 1775/33, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna"*, di cui all'art. 142, comma 1 lettera c) del D.Lgs. 42/2004, né aree in cui è presente il vincolo relativo ai *"Territori contermini ai laghi compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi"*, di cui all'art. 142, comma 1 lettera c) del D.Lgs. 42/2004.

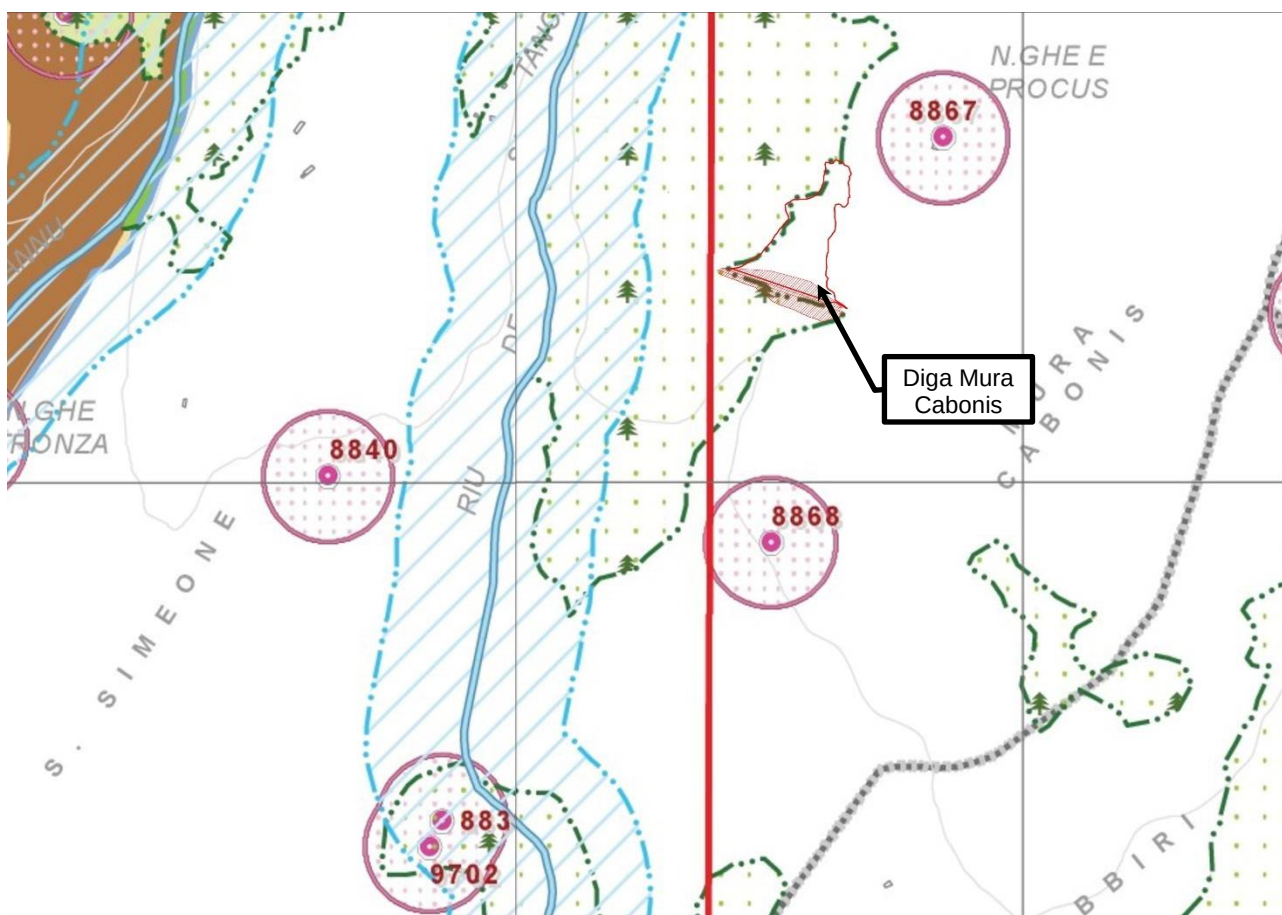


Figura 5 - Piano Paesaggistico Regionale approvato in via preliminare con della Giunta Regionale n. 45/2 del 25 ottobre 2013 – Estratto della Tav. 2.1 (Fogli 514II e 515 III) con ubicazione delle opere di progetto (in rosso)

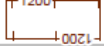
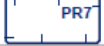
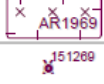
Territori costieri compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i terreni elevati sul mare		
Territori contermini ai laghi compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi		
Fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con R.D. 1775/33, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150m ciascuna	Area di vincolo effettivo	
	Area con valore cautelativo	
Montagne per la parte eccedente 1200 metri sul livello del mare per la catena appenninica e per le isole		
Parchi e le riserve nazionali o regionali, nonché i territori di protezione esterna dei parchi		
Territori coperti da foreste e da boschi, ancorché percorsi o danneggiati dal fuoco, e quelli sottoposti a vincolo di rimboschimento, come definiti dal D.lgs. 227/01		
Zone umide incluse nell'elenco previsto dal d.P.R. 448/76		
Vulcani		
Zone di interesse archeologico		

Figura 6 -Piano Paesaggistico Regionale approvato in via preliminare con della Giunta Regionale n. 45/2 del 25 ottobre 2013 – Estratto della legenda delle Aree tutelate per legge, di cui alla della Tav. 2.1 (Fogli 514II e 515 III)

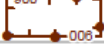
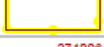
Fascia costiera		
Morfologie a baie e promontori, promontori singoli, falesie e piccole isole		
Campi dunari e compendi sabbiosi		
Aree a quota superiore ai 900 m s.l.m.		
Grotte e caveme		
Monumenti naturali istituiti ai sensi della L.R. 31/89		
Zone umide		
Corsi d'acqua di interesse paesaggistico	Area di vincolo effettivo	
	Area con valore cautelativo	
Aree di notevole interesse faunistico		
Aree di notevole interesse botanico e fitogeografico		
Alberi monumentali		
Insediamenti storici di notevole valore paesaggistico		
Aree caratterizzate da edifici e manufatti di valenza storico-culturale		

Figura 7 - Piano Paesaggistico Regionale approvato con delibera della Giunta Regionale n. 45/2 del 25 ottobre 2013 – Estratto della legenda dei beni paesaggistici tutelati dal PPR, di cui alla della Tav. 2.1 (Fogli 514II e 515 III)

Nella figura 8 è riportato un estratto della cartografia delle aree vincolate per scopi idrogeologici (fonte Geoportale della Sardegna), dal quale si evince che la diga di Mura Cabonis non ricade all'interno di aree in cui sussiste il vincolo idrogeologico.

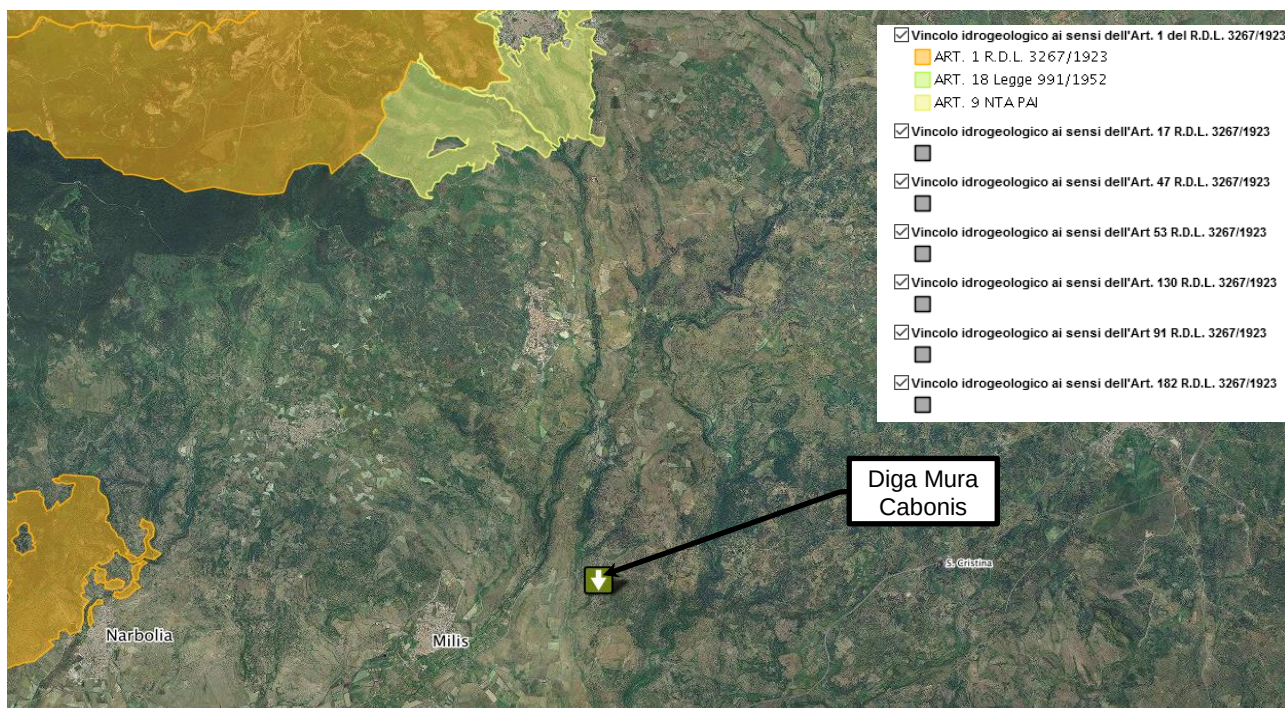


Figura 8 - Aree vincolate per scopi idrogeologici (fonte Geoportale della Sardegna)

3.2 – Inquadramento idrologico

Il territorio comunale si estende per una lunghezza di circa 8 km e per una profondità di circa 2 km lungo il corso del Riu Mannu, sulla sponda destra del fiume Tirso. L'area è ricchissima d'acque sorgive, che si raccolgono in numerosi piccoli corsi d'acqua, affluenti del Riu Mannu.

L'area dell'invaso di Mura Cabonis è caratterizzata dalla presenza di numerosi corsi d'acqua naturali frutto di un lungo processo erosivo condotto dalle correnti. Tra questi risulta essere particolarmente interessante il rio Mura Cabonis, identificato come 095027_FIUME_28820 tra gli elementi idrici della Regione Sardegna, perché contribuisce all'invaso della diga.

Il rio Mura Cabonis è un piccolo affluente in sinistra del rio de sa Tanca (rio Corongiu), che a sua volta è affluente in destra del riu Mannu. Quest'ultimo scorre verso sud, costeggiando la Strada Statale 131 fino a Tramatza.

Nell'area oggetto di interesse non risultano ancora state definite fasce di pericolosità dai vari livelli di pianificazione (Piano di Assetto Idrogeologico, Piano Stralcio delle Fasce Fluviali e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni).

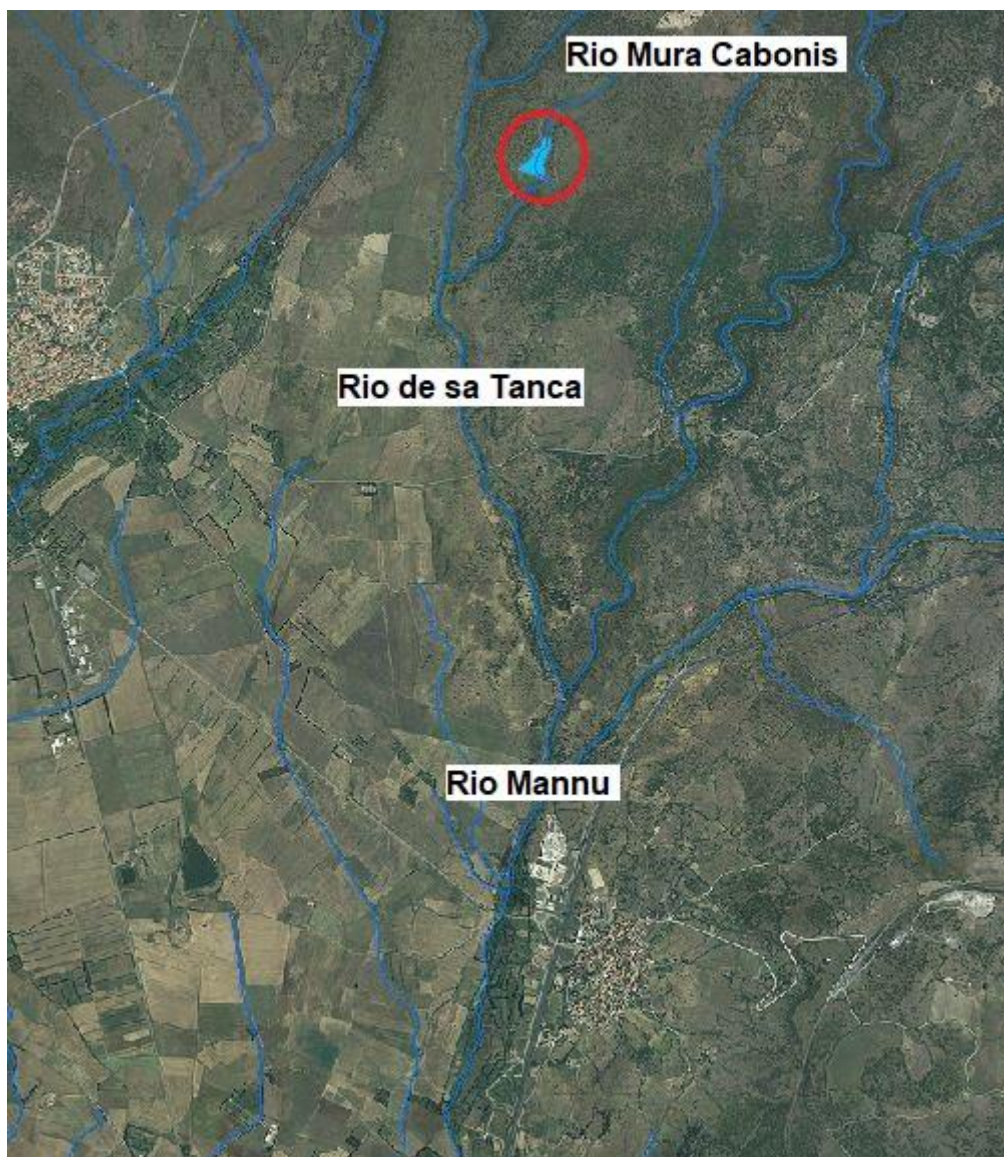


Figura 9 - Corsi d'acqua

3.3 – Descrizione dello sbarramento

L'invaso di Mura Cabonis ha una capacità di circa 70'000 m³ ed è alimentato dalle acque di supero provenienti dalla presa sul rio Cannargia, e da una adduzione integrativa che, prelevate le acque dal Canale Adduttore in destra Tirso, le convoglia al serbatoio attraverso due impianti di sollevamento.

La diga è del tipo in terra zonata, avente inclinazione del paramento di monte e di valle rispettivamente pari a circa 3/1 e 2/1. La larghezza del coronamento è di 4,5 metri ed è posto alla quota di 116,85 m s.l.m, mentre il piede di valle, costituito da un'unghia drenante in materiale lapideo grossolano, si trova ad una quota di 107,30 m s.l.m., per un'altezza pari a 9,55 m.

La tenuta idraulica è assicurata da un nucleo impermeabile formato da materiale limo-argilloso.

Lo scarico di superficie è costituito da uno stramazzo a larga soglia realizzato in calcestruzzo, situato in sponda sinistra, fuori dal corpo diga, della lunghezza di 26,55 metri.

A valle della soglia di sfioro le acque sono convogliate in un canale di scarico, detto canale fugatore, rivestito in calcestruzzo, con pendenza longitudinale che segue l'andamento del terreno. Il primo tratto, coincidente con lo sviluppo dello sfioratore, ha sezione trapezoidale mentre il secondo ha sezione rettangolare fino all'immissione nel rio originario.

Lo scarico di fondo funge sia da opera di scarico che da opera di adduzione. Infatti, dall'imbocco dello scarico di fondo, diparte una tubazione del DN 350 in acciaio, annegata in una trave di calcestruzzo, che attraversa il corpo diga in corrispondenza della parte centrale per poi diramarsi in due direzioni. La prima costituisce il vero e proprio scarico di fondo ed è costituito da un tronco in acciaio DN 250, mentre il secondo immette le acque nella rete irrigua.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dello sbarramento in esame:

- Classificazione in base alla L.R. 12/2007: tipologia I – categoria B2
- Classificazione in base al D.M. 26 giugno 2014: b2
- Tipologia costruttiva: diga in materiali sciolti con nucleo in argilla come struttura di ritenuta interna;
- Sviluppo al coronamento circa 200 metri;
- Altezza dello sbarramento: 9,55 m;
- Quota coronamento 116,85 s.l.m.
- Quota punto più depresso paramento di valle 107,30 m s.l.m.
- Larghezza coronamento: circa 4,5 m
- Pendenza paramento di monte circa 3/1, ormai irregolare
- Pendenza paramento di valle circa 2/1, ormai irregolare
- Superficie del bacino imbrifero 0.62 Km²
- Portata di massima piena: 13.14 m³/s (Tr= 1000 anni)
- Volume di invaso: 70'000 m³
- Quota del coronamento: 116,85 m s.l.m.
- Quota di massima regolazione: 115.84 m s.l.m.
- Quota di massimo invaso: 116.33 m s.l.m.
- Franco netto: 0.52 m (semiampiezza d'onda ritenuta pari a m 0.00)
- Scarico di superficie: stramazzo a larga soglia in calcestruzzo di lunghezza pari a 26,55 m situato in sponda sinistra, fuori dal corpo diga;
- Scarico di fondo: DN 250 in derivazione da una condotta DN 350 uscente dal corpo diga. L'originario scarico di fondo del DN 350 è attualmente utilizzato quale presa irrigua, che alimenta il comprensorio di Milis.

4. Schema idraulico

Il serbatoio di Mura Cabonis alimenta il distretto irriguo di Milis attraverso un sistema di condotte con funzionamento a gravità.

Il sistema idraulico prevede che l'invaso oltre a captare le acque relative al proprio bacino imbrifero venga alimentato dalle acque derivate da un'opera di presa sul rio Cannargia.

Queste attraverso un pozzetto di derivazione, possono essere convogliate sia direttamente in rete verso il distretto irriguo di Milis sia verso la diga di Mura Cabonis tramite una doppia condotta che termina nel pozzetto di manovra della diga e da qui tramite una condotta singola che alimenta l'invaso.

Quando il Cannargia non fornisce più un contributo di portata, (periodo estivo) la rete del distretto viene alimentata per gravità dall'invaso di Mura Cabonis utilizzando la stessa doppia condotta utilizzata per riempire l'invaso.

L'invaso può inoltre essere alimentato dalle acque prelevate dal Canale Adduttore in destra Tirso mediante una condotta in pressione proveniente dall'impianto di sollevamento "Murdegù" sito in agro di Tramatza.

In caso di evento di piena e massimo invasore, verrà chiusa la saracinesca posta nel pozzetto di manovra della diga sulla condotta di alimentazione dal Cannargia e aperta la saracinesca dello scarico di fondo presente nello stesso pozzetto.

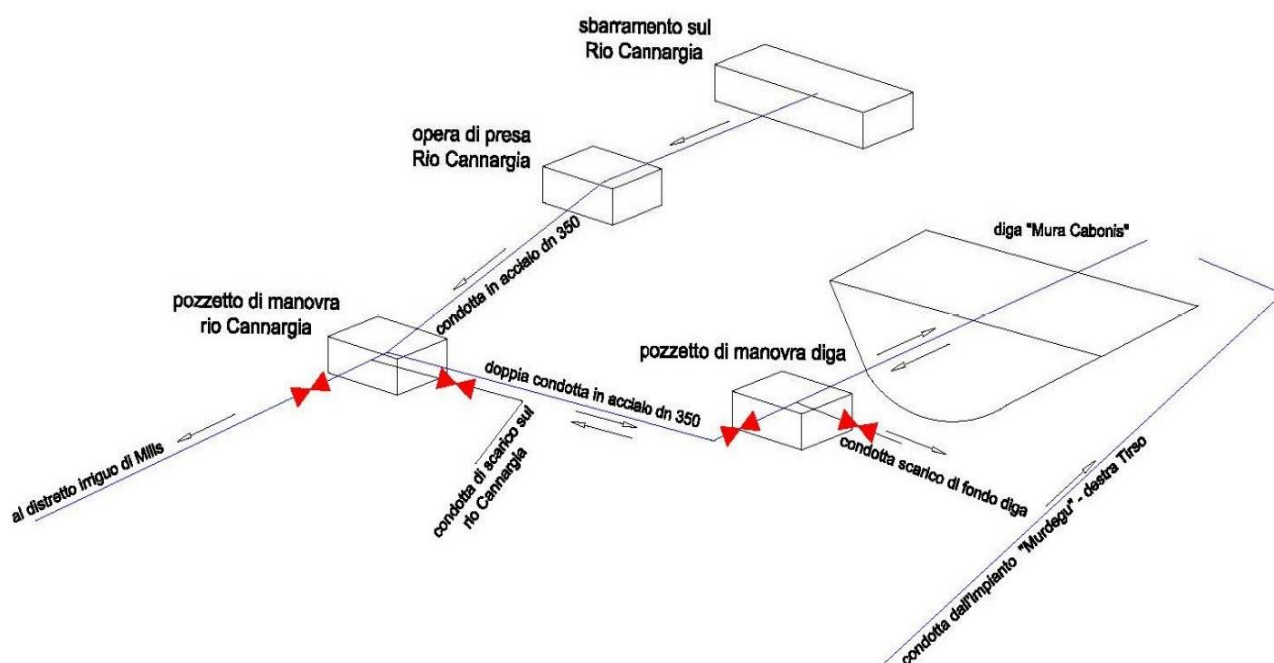


Figura 10 - Schema idraulico

Per procedere alla stesura del nuovo progetto per mettere in sicurezza l'invaso di Mura Cabonis, si è reso necessario procedere alla realizzazione di una condotta di by-pass per consentire di lavorare con l'invaso vuoto e contemporaneamente garantire la prosecuzione dell'esercizio irriguo della rete consortile di Milis.

La realizzazione del by-pass ha richiesto l'intercettazione della condotta premente in ghisa del DN 500 che partendo dalla stazione dall'impianto di pompaggio "Murdegu" viene utilizzata per alimentare l'invaso.

A tal fine è stato realizzato un pozzetto in cls (pozzetto "Murdegu") all'interno del quale, tramite un pezzo speciale in acciaio, dirama la condotta di by-pass in acciaio DN 500 che andrà a collegarsi al pozzetto di manovra della diga (pozzetto Mura Cabonis). Da quest'ultimo la condotta di by-pass si collega a due condotte sovrapposte esistenti del DN 350 che una volta raggiunto il pozzetto "Cannargia-Milis" andranno ad alimentare la rete irrigua di Milis.

Lo schema idraulico è quello riportato nella figura seguente

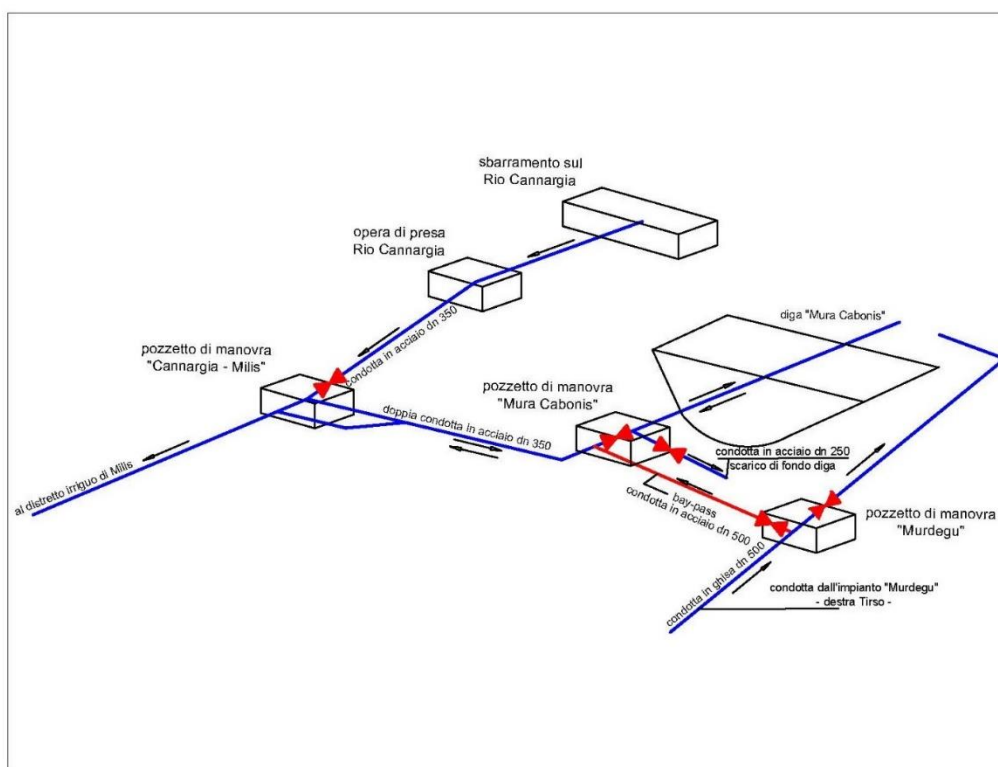


Figura 11 - Nuovo schema idraulico con bypass

5. Stato di fatto

In varie date sono stati effettuati diversi sopralluoghi dello sbarramento e dell'area circostante volti a valutare lo stato dei luoghi.

In particolare, si è avuta cura di visionare il paramento di valle, così da localizzare le perdite presenti, il coronamento, lo sfioratore superficiale e il canale fugatore. Tutti gli elementi citati sono stati oggetto di indagine visiva, atta ad una valutazione preliminare del loro stato, e di rilievo mediante strumentazione GPS in dotazione al Consorzio di Bonifica dell'Oristanese.

5.1 – Perdite sul paramento di valle

I sopralluoghi hanno messo in evidenza diversi punti di criticità legati a perdite diffuse sul paramento di valle dello sbarramento. Più precisamente si possono individuare due perdite puntuali evidenti in prossimità del centro della diga, e una perdita lineare distribuita posta più sulla sinistra idraulica.

Le perdite osservabili sono riconducibili, verosimilmente, all'ammaloramento del nucleo in argilla che naturalmente nel tempo tende a cristallizzarsi e fessurarsi.

Di seguito si riportano alcune foto eseguite durante il sopralluogo suddetto.



Figura 12 - Perdita localizzata

**Figura 13 - Perdita localizzata****Figura 14 - Perdita lineare**

5.2 – Sfiatore superficiale

Lo sfioratore superficiale è costituito da uno stramazzo a larga soglia in calcestruzzo di lunghezza di circa 2,30 m e sviluppo di 26,55 m. Questo si presenta generalmente in buono stato ad eccezione di un punto (in rosso nella figura 8) in cui si possono osservare delle perdite per fessurazione del blocco.

Rimandando alla relazione idrologica e idraulica per maggiori dettagli, si è osservato come la quota, pari a 115,84 m s.l.m., non sia tale da permettere il rispetto del franco minimo previsto dalla norma.



Figura 15 - Sfioratore superficiale e imbocco del canale fugatore

5.3 – Canale fugatore

Il canale fugatore è realizzato in calcestruzzo e ha una lunghezza di circa 140 metri.

Il primo tratto, in corrispondenza dello sfioratore, presenta una sezione trapezia variabile, mentre lungo il resto del suo sviluppo ha sezione rettangolare fino al congiungimento con il corso d'acqua originario. Tale immissione non risulta protetta da alcuna opera.

Il canale è in buono stato per tutto il suo sviluppo, eccetto che in un punto (in rosso nella figura seguente) sulla sponda sinistra che risulta essere deteriorato a causa di un albero ad alto fusto che ha fratturato il cls con l'apparato radicale.

Da un punto di vista idraulico il canale fugatore è in grado di smaltire la portata millenaria uscente dalla diga ma con franchi di sicurezza sulle sponde non sufficienti.

**Figura 16 - Canale fugatore****Figura 17 - Frattura della sponda sinistra a causa dell'albero**

5.4 – Pozzetto di mandata “Murdegu”

Pochi metri a monte dello sfioratore superficiale, è presente un pozzetto di forma rettangolare all'interno del quale è alloggiata una condotta in acciaio DN 500 di mandata che riceve le acque pompate dalla stazione di sollevamento posta a valle in località “Murdegu”.

Dal pozzetto l'acqua viene convogliata nel l'invaso tramite un canale in terra.



Figura 18 - Pozzetto di mandata "Murdegu"; vista dallo sfioratore verso l'invaso

5.5 – Scarico di fondo

Per via del livello idrico è stato impossibile visionare l'opera di presa dello scarico di fondo.

Questo è costituito da una condotta DN350, annegata in una trave in cls, che arriva in un pozzetto di manovra e dalla quale si diramano mediante raccordo a tee due condotte:

- un DN350 che funge anche da collettore della rete irrigua servita dall'invaso di Mura Cabonis;
- un DN250 che funge da scarico di fondo.

A valle di tale diramazione è presente l'immissione della condotta di bypass.

Si rappresenta che il diametro dello scarico di fondo risulta non conforme a quanto previsto nel progetto originario (DN 350).

5.6 – Altri elementi

La diga di Mura Cabonis non è dotata di alcun strumento di monitoraggio, né di illuminazione.

I contorni dell'invaso sono protetti da una recinzione rotta e divelta in più punti.

L'accesso al coronamento dello sbarramento è protetto da un cancello accessibile solo dagli operatori del Consorzio di Bonifica dell'Oristanese.

6. Interventi del progetto generale

La diga di Mura Cabonis ha necessità di una serie di interventi atti primariamente alla messa in sicurezza dello sbarramento e alla sua conformità alla normativa vigente, anche al fine di poter ottenere il permesso alla prosecuzione di esercizio.

I sopralluoghi hanno messo in evidenza diffuse perdite, indice del fatto che il nucleo impermeabilizzante non è più efficace.

Gli studi specialistici hanno definito una serie di criticità legate fondamentalmente al rispetto del franco di idraulico di sicurezza e ricollegabili allo sfioratore di superficie e al canale fugatore.

Inoltre, le Norme Tecniche sugli sbarramenti prevedono dei requisiti minimi che essi devono possedere, sia in termini di prestazioni che in termini di elementi accessori.

Stante quanto sopra, il progetto generale redatto si pone l'obiettivo di conformare la diga di Mura Cabonis alla norma mediante i seguenti interventi:

1. Impermeabilizzazione del paramento di monte mediante la realizzazione di un manto superficiale di tenuta in conglomerato bituminoso;
2. Ricarica del coronamento e risagomatura dei paramenti;
3. Abbassamento della soglia sfiorante e adeguamento del profilo dello sfioratore, previa demolizione di quello esistente;
4. Realizzazione di un canale di imbocco allo sfioratore;
5. Demolizione e rifacimento del canale fugatore;
6. Realizzazione di una vasca di dissipazione a valle del canale fugatore;
7. Realizzazione di un canale di dreno lungo il piede del paramento di valle per le acque di filtrazione;
8. Adeguamento dello scarico di fondo;
9. Predisposizione di strumentazione di monitoraggio;
10. Illuminazione dello sbarramento;
11. Inserimento di misuratori di portati ed elettrovalvole in punti di interesse;
12. Posa di cartelli monitori.

6.1 – Impermeabilizzazione del paramento di monte

Al fine di ripristinare le condizioni di tenuta dello sbarramento della diga di Mura Cabonis ed eliminare pertanto le attuali infiltrazioni nel corpo diga e le conseguenti perdite diffuse sul paramento di valle, il presente progetto, accogliendo l'indicazione contenuta nel citato verbale di voto n.209 reso dall'U.T.R., prevede

l'impermeabilizzazione del paramento di monte dello sbarramento mediante la realizzazione di un manto superficiale di tenuta in conglomerato bituminoso.

Il conglomerato di bitume quale materiale costitutivo di manti di tenuta delle dighe di materiali sciolti ha incontrato favori crescenti derivanti da alcune qualità fondamentali proprie di tale materiale:

- l'alta deformabilità plastica per cui, pur senza giunti, il manto segue senza danno gli assestamenti del rilevato;
- la resistenza alle azioni dinamiche del moto ondoso e l'insensibilità al gelo;
- l'impermeabilità che per pressioni fino a 25 atm è totale, purché la sua porosità non superi il 2%.

Per raggiungere spessori globali di manto che insieme garantiscano tenuta e resistenze meccaniche, nonché per ovviare alle conseguenze di eventuali difetti di sutura fra i getti eseguiti in momenti diversi, vengono sovrapposti più strati a giunti sfalsati che, nel caso specifico, saranno costituiti dal basso verso l'alto da uno strato di collegamento binder (0/20) di spessore pari a circa 10 cm, da uno strato di tenuta in conglomerato bituminoso (0/16) di spessore pari a 8 cm e da un sigillo di protezione in mastice bituminoso.

In particolare, le lavorazioni previste dal progetto per la realizzazione del manto di tenuta consisteranno sostanzialmente in:

- realizzazione di un taglione (*cutoff*) perimetrale in cemento armato posto in corrispondenza dell'unghia del paramento di monte della diga, necessario per consentire l'attacco al piede del nuovo manto di tenuta;
- preparazione del sottofondo su cui verrà realizzato il manto di tenuta;
- applicazione a spruzzo di emulsione bituminosa cationica con titolo di bitume non inferiore al 55%, in ragione di 2÷5 kg/mq;
- stesa e compattazione degli strati di conglomerato bituminoso, previa applicazione a spruzzo di emulsione bituminosa cationica con contenuto di bitume non inferiore al 55%, in ragione di 0,25 Kg/mq, tra gli strati di conglomerato bituminoso;
- collegamento del manto impermeabile al taglione (*cutoff*) posto al piede del paramento di monte;
- esecuzione del sigillo di protezione in mastice bituminoso (spessore pari a circa 2mm) sull'ultimo strato di tenuta in conglomerato bituminoso.

6.1.1 - Preparazione dello strato di sottofondo del manto impermeabile

Il sottofondo sopra al quale sarà realizzata la sovrastruttura in conglomerato bituminoso del manto impermeabile, costituito dall'ultimo strato del materiale che forma il corpo diga, rappresenta il confine fra l'opera di base e quella di tenuta idraulica.

Al fine di garantire che lo strato di sottofondo abbia una portanza ed una continuità strutturale idonea alla successiva realizzazione della sovrastruttura in conglomerato bituminoso, il progetto prevede che tutto il paramento di monte dello sbarramento venga preventivamente compattato mediante l'impiego di un rullo

vibrante, vincolato mediante funi di acciaio ad un carro argano posto sul coronamento della diga, che consentirà di compattare il materiale del sottofondo lungo la linea di massima pendenza affinché possano essere soddisfatti i requisiti minimi di portanza del terreno, che dovranno essere verificato in opera mediante specifiche prove di portanza.



Figura 19 - Esempio di compattazione dello strato di base lungo la linea di massima pendenza del paramento di monte della diga, mediante l'impiego di rullo vibrante vincolato ad un carro argano posto sul coronamento

Una volta terminate le operazioni di rullatura dello strato esistente si procederà alla spruzzatura dell'intera superficie con un diserbante naturale e alla successiva spruzzatura della superficie con emulsione bituminosa cationica con contenuto di bitume non inferiore al 55%, in ragione di 2÷5 kg/mq a seconda della natura del sottofondo, necessaria per consentire l'ancoraggio dello strato di binder.

Tutte le operazioni effettuate in pendenza sul paramento della diga verranno assicurate tramite ancoraggio dei mezzi a degli argani posti sulla strada di coronamento della diga stessa. Per garantire la sicurezza delle operazioni gli argani dovranno essere equipaggiati con una doppia fune.

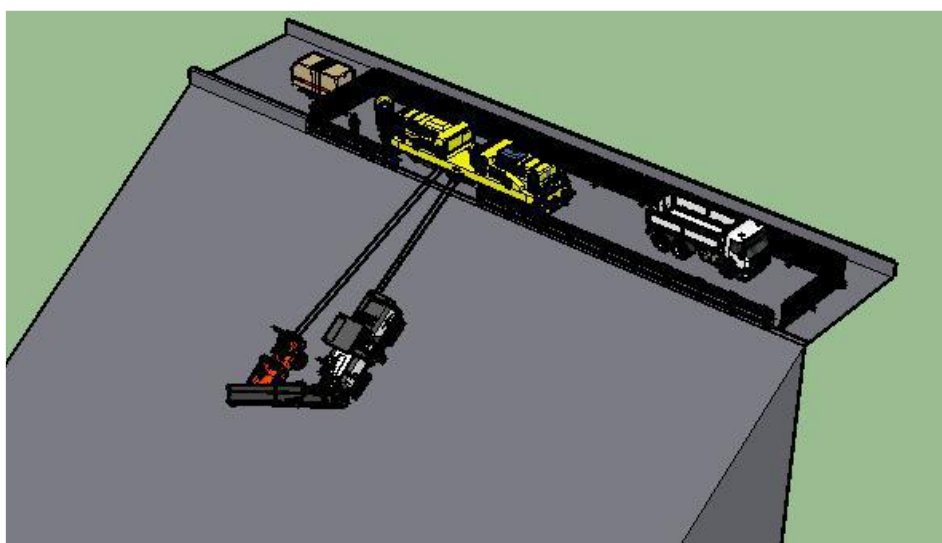


Figura 20 - Schematizzazione dei mezzi d'opera sul coronamento e sul paramento di monte

6.1.2 - Stesa dei nuovi strati di conglomerato bituminoso

Come anticipato il manto impermeabile sarà costituito da un primo strato di collegamento binder, avente uno spessore di circa 10 cm, e da uno strato impermeabile in conglomerato bituminoso di tipo chiuso di spessore pari a circa 8 cm.

Il conglomerato bituminoso in arrivo dagli impianti di confezionamento, che dovrà essere trasportato con mezzi di trasporto di adeguata portata ed efficienza, sempre dotati di telone di copertura per evitare i raffreddamenti superficiali eccessivi e la formazione di crostoni, sarà scaricato in un cassone termo-riscaldato ubicato sul coronamento dello sbarramento e da qui, dopo le prove di accettazione da parte della D.L., sarà prelevato per mezzo di un escavatore che lo depositerà su un dumper ribaltabile (ancorato mediante doppie funi al carro argano posto sul coronamento) per il trasporto lungo il paramento della diga fino a raggiungere la finitrice operante sul paramento.

L'operazione di stesa avverrà per strisce parallele disposte sulla linea di massima pendenza del coronamento, dal piede della diga fino al coronamento, mediante l'impiego di una vibrofinitrice adattata al funzionamento in pendenza e ancorata ad un carro argani posto sul coronamento della diga. Raggiunta la sommità della diga la vibrofinitrice salirà sul carro argani che la trattiene, staccandosi dal paramento, e si sposterà sulla passata successiva per ridiscendere verso il punto di nuova partenza.

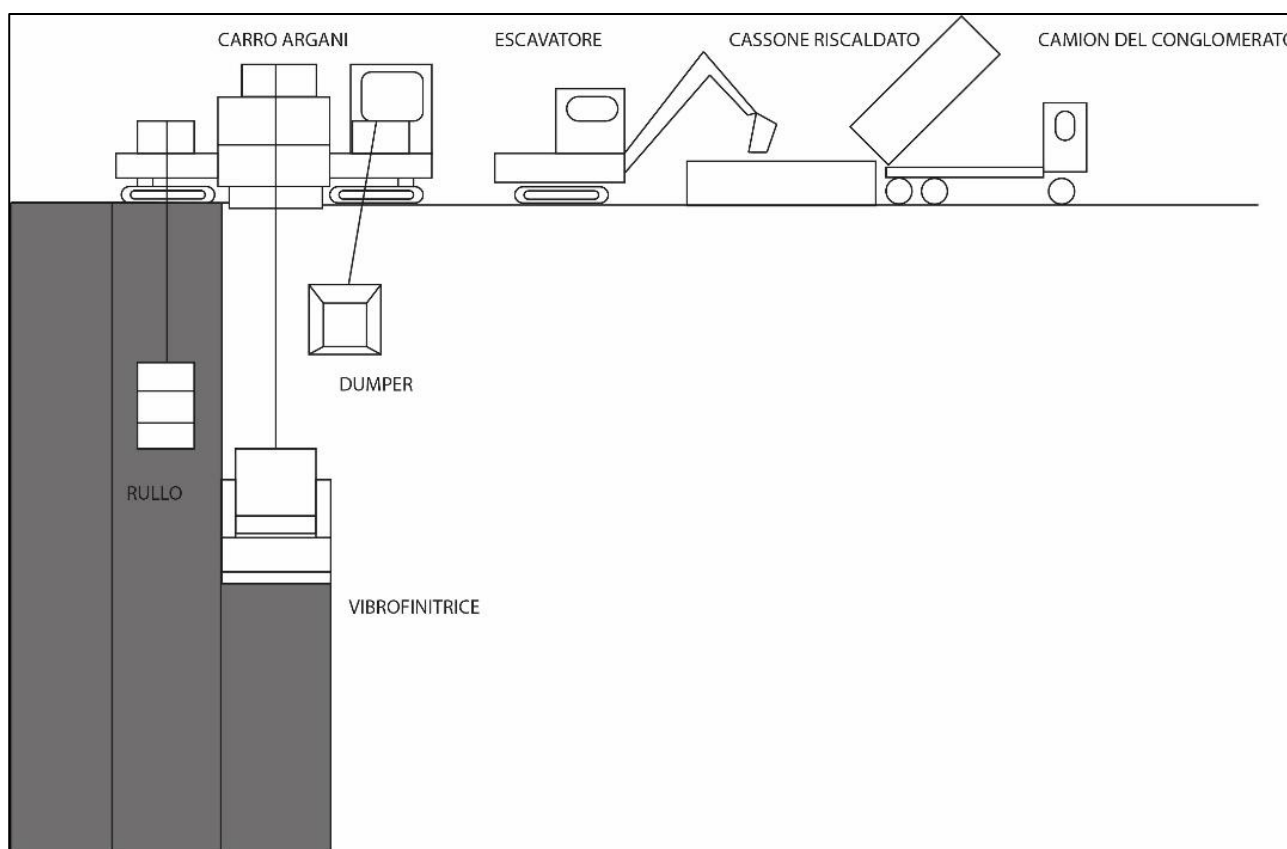


Figura 21 -Sequenza di stesa del conglomerato bituminoso

La rullatura avverrà subito dopo la stesa del conglomerato affinché la temperatura del materiale posto in opera non si abbassi oltre i 130°C. Per tale motivo la temperatura dell'asfalto durante la posa in opera dovrà essere misurata in continuo con un sensore termometrico.

Nelle operazioni appena descritte dovrà essere posta particolare attenzione alla stesa di strisciate parallele e alla temperatura dei giunti di sovrapposizione delle strisciate per evitare la creazione di giunti freddi (si intendono giunti freddi tutti i giunti tra una passata e la successiva in cui la temperatura dell'asfalto già in opera diventi inferiore agli 80°C, in questo caso i giunti dovranno essere opportunamente trattati).



6.1.3 - Compattazione degli strati in conglomerato bituminoso

La compattazione dei conglomerati, che dovrà essere portata a termine senza interruzione, dovrà iniziare quando la temperatura del materiale sia ancora sufficientemente alta da consentire la compattazione stessa. L'addensamento di norma sarà realizzato mediante l'impiego di rullo vibrante da 4 ton, con un numero di passaggi dal basso verso l'alto adeguato ad ottenere un valore di vuoti residui compreso tra 9% e il 12%, nel caso del binder, e <3% nel caso dello strato di tenuta superficiale. Il rispetto dei requisiti minimi di impermeabilità sarà verificato mediante l'esecuzione di prove giornaliere (carotaggi) e successivamente tramite *vacuum test*.

I giunti freddi verticali o orizzontali, derivanti dalle interruzioni giornaliere dovranno essere accuratamente trattati tramite riscaldamento e ribattitura per assicurare una perfetta adesione con la nuova stesa. Il trattamento dei giunti verticali, la cui tenuta dovrà essere verificata tramite *vacuum test*, sarà effettuato con lampade a infrarossi, a mano o tramite appositi macchinari, in modo da garantire il riscaldamento del giunto fino a temperatura superiore ai 100°C per l'intera altezza dello strato.

6.1.4 - Realizzazione del taglione in c.a. (cutoff) e collegamento inferiore del manto di tenuta

Alla base del rilevato, in corrispondenza dell'unghia del paramento di monte della diga, sarà realizzato un taglione in c.a. (*cutoff*) spinto fino alla quota del bedrocks, così da ammorsare l'impermeabilizzazione alla roccia ed evitare che si possa instaurare un moto di filtrazione nel corpo della diga, negli strati posti al di sotto del conglomerato bituminoso impermeabile.

Il taglione, che sarà completamente interrato, avrà uno sviluppo complessivo di circa 215 m, una larghezza di 80 cm ed una profondità rispetto al fondo e alle sponde dell'invaso compresa tra 2,00 m e 4.40 m, così come meglio rappresentato negli elaborati grafici di progetto. Tale manufatto in c.a. sarà realizzato in calcestruzzo C25/30, con classe di esposizione XC2, armato con doppio foglio di rete $\Phi 12/20 \times 20$ e staffe in barre ad aderenza migliorata $\Phi 12$.

Come si evince dagli elaborati grafici di progetto e dalla figura 23 il giunto di collegamento al taglione in c.a. sarà realizzato per strati successivi. La parte orizzontale dello strato impermeabile superficiale sarà realizzato a mano contemporaneamente alla stesa della strisciata superiore eseguita a macchina in modo da evitare la formazione di un giunto orizzontale freddo.

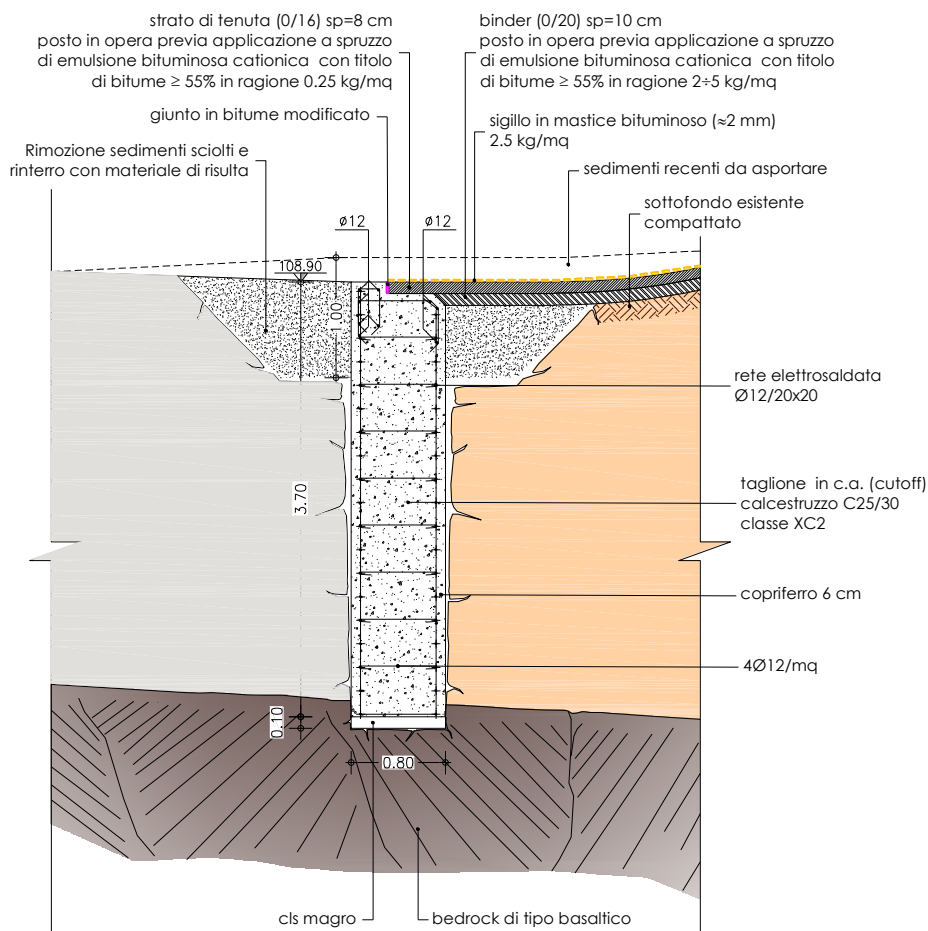


Figura 23 - Dettaglio di collegamento del manto impermeabile al taglione posto in corrispondenza dell'unghia del paramento di monte

L'intervento di esecuzione del giunto al taglione in c.a. sarà articolato nelle seguenti fasi di lavorazione:

- pulizia con aria per rimuovere eventuali residui di polvere o sporcizia.
- spruzzatura di emulsione bituminosa
- stesa dello strato di tenuta in conglomerato bituminoso e creazione di una fessura come giunto di 2 cm di spessore
- compattazione tramite piastra vibrante e/o rullo
- riempimento del giunto mediante colata a caldo di bitume modificato, in una o più passate per evitare eccessivi colamenti;

6.1.5 - Collegamento superiore del manto di tenuta al cordolo in corrispondenza del coronamento

Come si evince dagli elaborati grafici di progetto e dalla figura 24, il giunto di collegamento superiore al cordolo posto in corrispondenza del coronamento della diga sarà realizzato mediante l'esecuzione di un blocco di asfalto impermeabile, avente una larghezza di 50 cm e spessore complessivo di 18 cm. A contatto con il cordolo superiore, analogamente al collegamento inferiore, sarà lasciato un giunto di 2 cm di larghezza da riempire con bitume modificato colato a caldo.

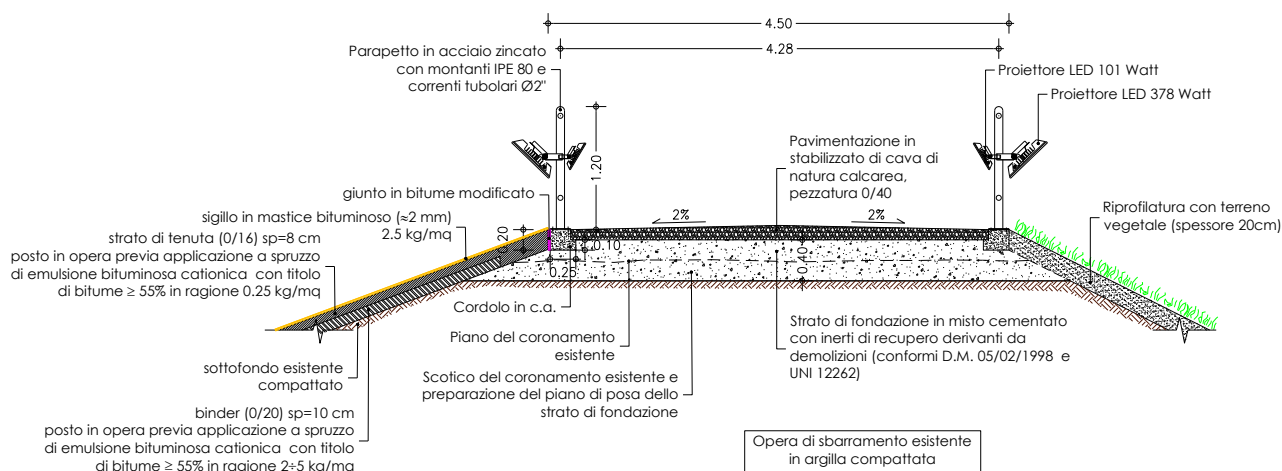


Figura 24 - Opere ed interventi previsti sul coronamento della diga e con rappresentazione del collegamento del manto impermeabile al cordolo posto in corrispondenza coronamento della diga

6.1.6 - Sigillo superficiale

L'ultima operazione consisterà nell'applicazione di un sigillo protettivo in mastice bituminoso a caldo (steso in ragione di 2.5 kg/mq, spessore pari a circa 2 mm) sull'ultimo strato impermeabile in conglomerato, il quale avrà la funzione di proteggere il sottostante strato di tenuta dall'esposizione diretta delle radiazioni ultraviolette, nonché dalle escursioni termiche, dai fenomeni erosivi derivanti dall'azione del moto ondoso e dai processi di invecchiamento. L'invecchiamento infatti è una conseguenza dell'evaporazione dei volatili del bitume esposto dalla superficie del conglomerato bituminoso, la quale tende ad indurire il bitume, a renderlo fragile e soggetto

a fessurazioni. Arricchendo la superficie esposta con il mastice si ritardano questi fenomeni prolungando di fatto la vita utile del manto impermeabile.

6.2 – Ricarica del coronamento e risagomatura dei paramenti

Come si è potuto osservare con la campagna di rilievi condotta, il profilo del coronamento risulta essere irregolare sicché si rende necessario eseguire una ricarica nei punti più depressi.

Inoltre, dovendo garantire un franco di sicurezza minimo rispetto al coronamento e volendo minimizzare gli interventi di cui al successivo paragrafo, la ricarica del coronamento risulta molto utile anche a tal fine.

Più precisamente, si procederà come di seguito descritto:

1. Si eseguirà lo scotico del coronamento presente fino ad arrivare alla quota di 116,80 m slm;
2. Previa regolarizzazione del piano di posa tramite costipamento, si realizzerà uno strato di 40 cm in misto cementato, così da garantire anche una maggiore portanza per i mezzi che verranno utilizzati per l'impermeabilizzazione del paramento di monte;
3. Posa di uno strato di finitura in pietrisco di circa 10 cm così da arrivare alla quota di progetto finita, ovvero già esauriti i fenomeni di assestamento, di 117,25 m slm.

Contestualmente alla ricarica del coronamento si procederà anche alla riprofilatura dei paramenti di monte e di valle: nel primo caso l'intervento si rende necessario per poter eseguire le lavorazioni di impermeabilizzazione del paramento di monte, in quanto le stesse dovranno essere eseguite su un piano di posa quanto più omogeneo; nel secondo caso invece l'intervento consentirà di ripristinare gli avvallamenti e le irregolarità presenti, precisando che l'intervento consentirà di ripristinare la pendenza di 1 su 2, come suggerito dal Manuale Tecnico per la progettazione, costruzione e gestione degli sbarramenti ed invasi di competenza della Regione Piemonte.

6.3 – Adeguamento dello sfioratore superficiale e del canale di imbocco

Come premesso al paragrafo 6.2 e meglio descritto nella relazione idrologica e idraulica, per poter rispettare il franco netto previsto dalla normativa vigente si rende necessario abbassare la soglia sfiorante.

A tal fine si dovrà procedere preliminarmente alla demolizione dell'attuale soglia in calcestruzzo e allo sbancamento del canale di imbocco che convoglia le acque verso lo sfioratore fino alla quota di progetto. Il materiale di risulta costituito da cls e da terreno vegetale dovrà essere rispettivamente conferito a discarica o riutilizzato per quanto possibile in loco, se le caratteristiche granulometriche ed ambientali sono consone.

Il nuovo sfioratore sarà sempre costituito da una soglia sfiorante in cls armato con rete elettrosaldata, da sagomare secondo il classico profilo Creager-Scimemi, di lunghezza pari a 26,55 m, con quota superiore pari a 115,27 m slm, ovvero con un abbassamento di 57 cm rispetto alla configurazione esistente.

Come anticipato, al fine di garantire il non superamento della quota di massimo invaso prevista dal progetto, l'intervento di adeguamento dello sfioratore superficiale rende necessario anche l'adeguamento del canale di imbocco allo sfioratore superficiale. Il canale di imbocco, che verrà risagomato mediante l'esecuzione di uno scavo di sbancamento da eseguirsi principalmente in roccia, avrà una pendenza del fondo costante e pari ad 1.50% verso l'invaso, al fine di evitare ristagni.

6.4 – Rifacimento canale fagatore

Come meglio dettagliato nella relazione idraulica, la configurazione geometrica attuale del canale fagatore è in grado di smaltire la portata millenaria uscente dallo sbarramento senza però rispettare un adeguato franco di sicurezza. Tale circostanza, unita all'abbassamento dello sfioratore, rende pertanto necessario l'adeguamento della sezione di deflusso e del profilo longitudinale del canale fagatore.

In particolare, si dovrà in primo luogo procedere alla demolizione dell'intero canale fagatore esistente ed allo scavo del terreno in situ fino ad arrivare alla quota di progetto. Successivamente si potrà procedere con la realizzazione del nuovo canale fagatore, che sarà completamente rivestito in cls armato con rete elettrosaldata, e che può essere sostanzialmente suddiviso in due tratti omogenei.

Il primo tratto, di lunghezza pari allo sfioratore, funge da canale di gronda e raccoglie le acque dello scarico di superficie. Esso avrà sezione simil-trapezia variabile lungo il suo sviluppo con fondo posto alla quota di 113,85 m slm.

Il secondo tratto, di lunghezza pari a circa 124 m e sezione rettangolare in cls con larghezza di 3 m e altezza di 1,50 m, ripercorre il tracciato attuale con una pendenza costante di 0,083 m/m, fino ad arrivare alla vasca di dissipazione. Quest'ultima, anch'essa in cls, presenta diversi elementi che permettono di frangere il flusso in arrivo, dotato di un'importante componente cinetica, e quindi di convogliare le acque nel rio Mura Cabonis a valle con un'energia drasticamente ridotta.

A valle della soglia della vasca di dissipazione sono previsti massi di grossa pezzatura per proteggere il piede dell'opera dalla possibile erosione.

6.5 – Canale di drenaggio

Alla base del paramento di valle è presente un'unghia drenante con la funzione di captare le acque di filtrazione evitando che possano insorgere sorgenti sospese sul rilevato.

A causa delle condizioni del nucleo di argilla, allo stato attuale si verificano perdite lungo il paramento, come si è potuto osservare al paragrafo 5.1. In seguito agli interventi proposti, però, si ha l'obiettivo di impermeabilizzare il paramento di monte e di deprimere l'eventuale linea di saturazione.

Trattandosi di una diga in terra risulta difficile eliminare totalmente le perdite per cui è opportuno realizzare un canale di raccolta delle acque di drenaggio lungo la base del paramento di valle. Tale canale, con sezione trapezia rivestita in cls e diviso in due tratti, confluirà all'interno di un pozzetto a base rettangolare.

Al termine di quest'ultimo l'acqua defluisce a valle mediante uno stramazzo di tipo Thomson (triangolo isoscele con apertura a 90°), che ben si adatta per basse portate e la cui legge di efflusso è nota. Tramite il misuratore di livello di cui al paragrafo 6.7.3, sarà così possibile monitorare le portate drenate dallo sbarramento e segnalare tempestivamente eventuali problemi.

6.6 – Scarico di fondo

Lo scarico di fondo è in diramazione rispetto alla condotta uscente dalla diga, con diametro DN350.

Si prevede il relining della condotta principale nel tratto che collega l'opera di presa con la camera di manovra e sostituzione dell'attuale diramazione in DN250 con un DN350 in acciaio, in conformità al progetto originario, nonché l'inserimento di una saracinesca manuale col volantino movibile da sopra il grigliato di copertura del pozzetto di ispezione.

Avendo inserito apparecchiature idrauliche, quali misuratore di portata ed elettrovalvole, tra la diramazione dello scarico di fondo e l'immissione del by-pass, si è reso necessario arretrare la posizione della prima di circa 9 m verso il paramento di valle dello sbarramento.

Le acque verranno scaricate a valle della diga all'interno di un canale a sezione trapezia di altezza pari a 1,00 m, sponde inclinate 1:1 e base inferiore di 1 m, in cui verranno immesse anche le acque derivanti dal canale di dreno di cui al paragrafo precedente.

6.7 – Strumentazione di monitoraggio

In fase di esercizio è necessario eseguire diversi controlli sullo sbarramento finalizzati alla misura degli spostamenti, delle perdite d'acqua, delle pressioni e degli assestamenti tipici dei rilevati realizzati in materiali sciolti. A tal fine si prevede l'installazione della seguente strumentazione:

- n.2 coppie di piezometri, finalizzati al controllo della linea di saturazione;
- n.1 stazione per collimatore e n.4 mire sul coronamento, per valutarne l'allineamento;
- n.2 idrometri, di cui uno del tipo a piezometro a sonda da poggiare sul paramento di monte e uno ad ultrasuoni sul canale di raccolta dei dreni così da valutare le perdite;

Gli strumenti dovranno essere dotati di uscita 4-20 mA così da poter utilizzare il segnale con qualsiasi software aperto nonché di datalogger per remotare le misure effettuate.

6.7.1 - Piezometri

Visto il materiale costituente la diga si sono scelti i piezometri a tubo aperto, adatti per terreni con permeabilità medio alta. Essi saranno costituiti da tubi in PVC di diametro non inferiore a 75 mm, inseriti entro fori di sondaggio per il controllo delle oscillazioni nel tempo della tavola d'acqua.

La profondità da raggiungere è stimata in 10 m per quello di monte e 7 m per quello di valle, ovvero deve essere tale da superare la profondità della base del rilevato.

Da un punto di vista planimetrico si dovranno installare due coppie di piezometri lungo due sezioni poste a sinistra e a destra rispetto alla sezione più alta della diga. Un piezometro andrà inserito 1 m a monte del coronamento, mentre il secondo circa 8 m a valle e comunque a monte dell'unghia drenante, come suggerito dal Manuale per gli sbarramenti di competenza regionale redatto dalla Regione Piemonte approvato con D.G.R n. 65 - 15352 del 12 aprile 2005.

6.7.2 - Mira

Fissata la posizione del collimatore in sponda destra in corrispondenza del piccolo spiazzo presente, dovranno essere predisposte le mire fisse sul coronamento.

La base per la mira verrà installata su un pilastro in calcestruzzo di dimensioni 300x300x300 mm. Nella zona centrale del pilastro dovrà essere realizzato un vano per accogliere il bullone di ancoraggio. Quindi si dovrà murare la vite a testa esagono controllando l'allineamento con il collimatore posizionato nella propria postazione, precedentemente fissata. A questo punto si dovrà mettere in posizione e bloccare la base per mire e, infine, controllare l'orizzontalità della base così eventualmente da agire sulle tre viti calanti (tra viti calanti e calcestruzzo sono disposti tre dischetti metallici, ripartitori della pressione di appoggio).

Una volta individuata la posizione definitiva, si dovrà calzare la base con malta di calcestruzzo.

Poiché il coronamento è carrabile il pilastro dovrà essere realizzato in apposita nicchia sul coronamento, avendo cura che la superficie finita sia appena superiore allo strato finito di "usura" e che si trovi al centro della carreggiata per evitare che le ruote dei mezzi possano danneggiarlo.

6.7.3 - Idrometro

Nelle posizioni indicate nella tavola 9.1 dovranno essere installati due misuratori di livello, uno per il livello dell'invaso e uno per la valutazione delle portate di filtrazione.

Il misuratore di livello dell'invaso sarà del tipo a piezometro con sonda (piezoresistivo), ovvero sarà costituito da un classico tubo forato poggiato sul paramento di monte finito, da ancorare mediante sistemi meccanici ovvero mediante saldatura di elementi catramati, all'interno del quale inserire una sonda che misura la lunghezza bagnata. La proiezione in verticale di tale valore permetterà di ottenere il livello del pelo libero dell'invaso.

Il misuratore di livello dei dreni sarà del tipo ad ultrasuoni per livelli con range molto bassi (0,05m – 1,50m) e sarà posizionato al di sopra dello stramazzo del canale di raccolta dei dreni tramite una staffa di supporto con braccio telescopico, montato su una piantana da fissare adeguatamente al bordo del canale medesimo.

6.8 – Interventi complementari

Come interventi complementari si intendono tutti gli interventi, più o meno importanti, funzionali ad una corretta gestione dell'invaso, inteso sia da un punto di vista di risorsa idrica che da un punto di vista fisico in termini di diga.

6.8.1 - Misuratori di portata ed elettrovalvole

Al fine di una corretta gestione della risorsa idrica è necessario poter misurare quali sono le portate in ingresso e in uscita dall'invaso. Per questo motivo verranno predisposti due misuratori di portata elettromagnetici in linea: uno DN500 sulla condotta di Murdegù in ingresso nella diga, in corrispondenza dell'omonimo pozzetto, e uno DN350 sulla condotta in uscita dalla diga, a valle dello scarico di fondo, così da valutare la portata immessa nella rete.

Ancora, nell'ottica di un controllo da remoto, dovranno essere installate elettrovalvole in ingresso alle due diramazioni dal pozzetto di Murdegù (principale verso l'invaso e bypass) e a valle del misuratore di portata, nonché dello scarico di fondo, e a monte dell'immissione del bypass lungo la condotta uscente dallo sbarramento. Le idrovalvole saranno del tipo a comando idraulico a membrana con la funzione di pilotaggio on/off di apertura/chiusura remota tramite comando elettrico.

Oltre a quanto sopra verranno predisposti misuratori di pressione, sfiati e valvole a farfalla.

6.8.2 - Parapetto e illuminazione

Lungo il coronamento non è presente nessuna protezione contro le cadute sul lato di monte, mentre su quello di valle è presente una recinzione pastorale alta circa 2 m.

Sulla scorta di ciò si è scelto di predisporre su ambo i lati un parapetto di altezza di 1,20 m con montanti saldati su piastre fissate sul sottofondo in misto cementato mediante barre filettate.

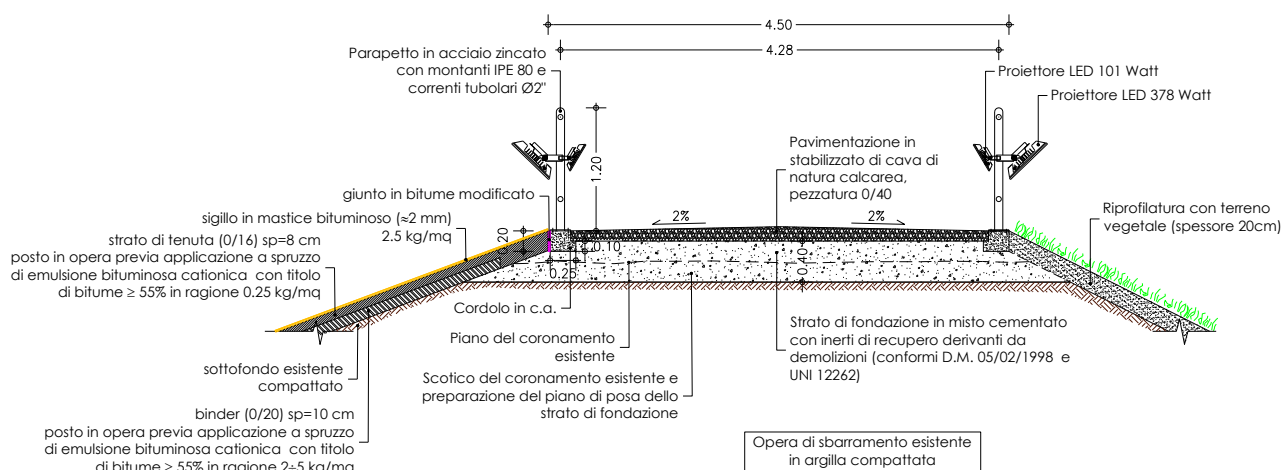


Figura 25 - Opere ed interventi previsti sul coronamento della diga

In linea generale la normativa e gli atti autorizzativi prescrivono che gli sbarramenti siano dotati di una idonea illuminazione dei due paramenti, così da poter monitorare e controllare in qualsiasi momento lo stato della diga e delle opere connesse. Nel caso specifico, non essendo presente alcuna fonte elettrica, non è mai stato realizzato un sistema di illuminazione. Per tale motivo, nonostante siano ancora in corso le attività preliminari per la richiesta di allaccio elettrico, il progetto prevede la predisposizione di un impianto elettrico atto all'illuminazione dei suddetti paramenti mediante faretti LED da fissare sui parapetti con interasse di 8 m. Oltre all'illuminazione dei paramenti verrà garantita anche l'illuminazione del coronamento con faretti posti sui due lati con interasse di 16 m.

Sulla stessa linea di pensiero si sono previsti faretti anche nella camera di manovra dello sbarramento così da garantire l'illuminazione delle opere di sezionamento dello scarico di fondo.

6.8.3 - Illuminazione del corpo diga e del sentiero di accesso alla camera di manovra

L'illuminazione del coronamento e dei paramenti dello sbarramento, per tutta la sua estensione, sarà realizzata da proiettori a tecnologia LED di adeguata potenza solidamente fissati, così come anticipato al precedente paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, alla struttura dei parapetti in acciaio posti lungo il coronamento.

L'illuminazione del sentiero di accesso alla camera di manovra sarà invece affidata a classici pali stradali dall'altezza limitata (4 metri fuori terra) verniciati di idonea tonalità per ridurre l'impatto visivo.

Gli impianti faranno capo a quadri elettrici di comando e di protezione che verranno installati all'interno di un nuovo locale tecnico, di tipo prefabbricato, posto in prossimità del cancello di ingresso al coronamento.

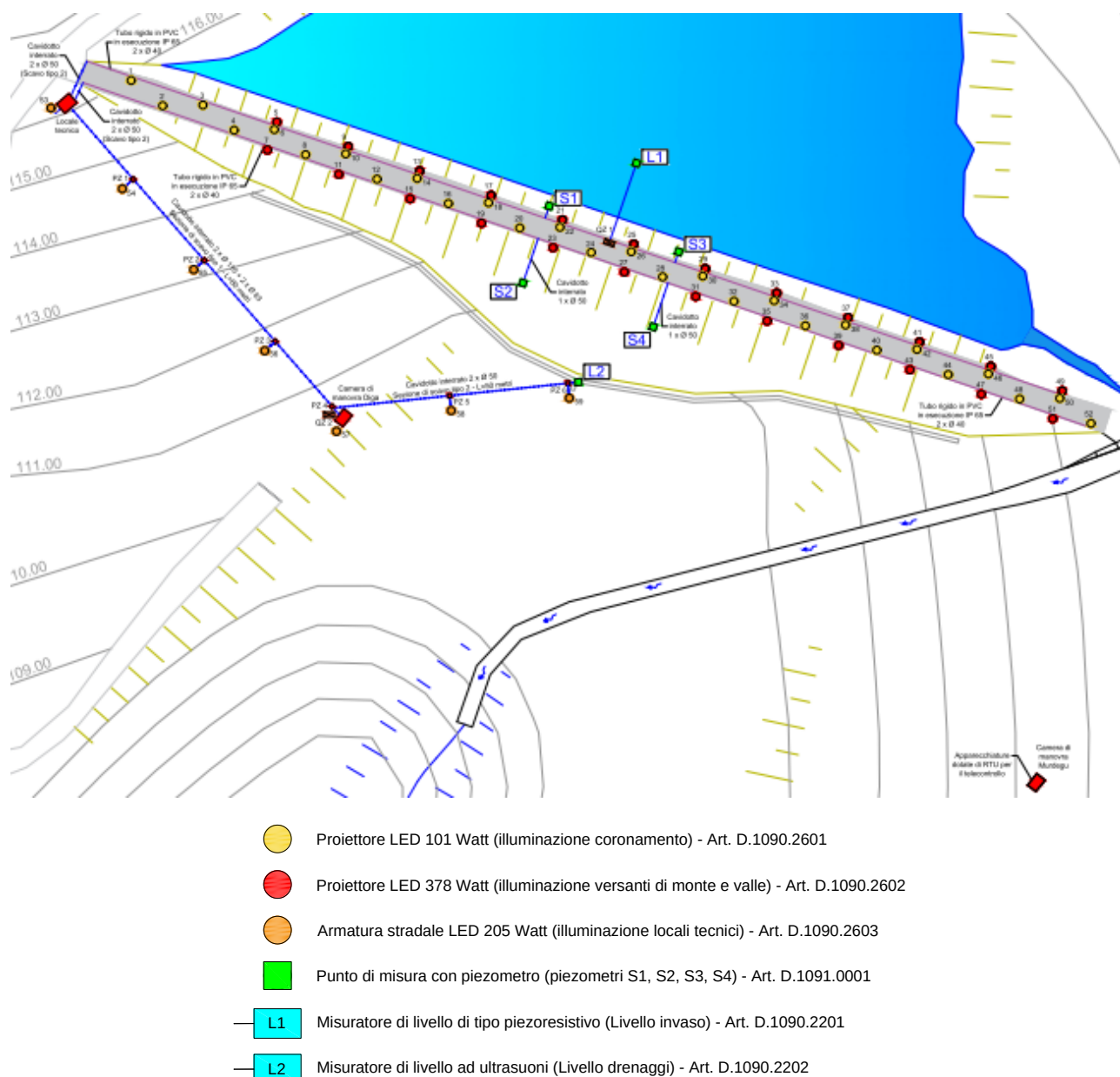


Figura 26 - Planimetria della diga con indicazione dei corpi illuminanti, delle linee elettriche e del nuovo locale tecnico

In prossimità della camera di manovra Diga e dei sensori previsti sul corpo dello sbarramento (S1, S2, S3, S4, L1) si installeranno due armadi stradali contenenti ciascuno le necessarie apparecchiature volte a raccogliere i segnali di campo previsti e trasmetterli via radio al PLC, ubicato all'interno del locale tecnico.

6.8.4 - Cartelli monitori

Gli studi idraulici hanno messo in evidenza la presenza di alcune criticità lungo il corso d'acqua a valle della diga già per tempi di ritorno moderati (50 anni).

Rimandando agli allegati B.1 e B.2 del presente progetto per maggiori dettagli, si riconoscono quali punti maggiormente critici la strada limitrofa allo sbarramento, i sentieri di accesso all'alveo e i ponti delle strade

provinciali SP9 e SP17. In corrispondenza di essi si provvederà a predisporre cartelli monitori del tipo “Piena Improvvisa”, ai sensi della Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 28 agosto 1986, n. 1125.

6.8.5 - Linea elettrica e digitale

A partire dal locale tecnica che verrà disposta sul piazzale in destra idraulica del coronamento, verrà realizzata una linea elettrica che permetta l’approvvigionamento della corrente dei fari, dei trasduttori all’interno dei piezometri e delle apparecchiature idrauliche e dell’illuminazione nella camera di manovra della diga.

Il pozzetto di Murdegù e il misuratore di livello ad ultrasuoni verranno alimentati da pannelli solari autonomi al fine di evitare la posa di cavidotti in tratti umidi.

Oltre a quanto sopra, verrà realizzato un cavidotto per il bus digitale con il quale trasportare i segnali dei vari strumenti di monitoraggio all’interno della cabina suddetta, da cui remotare i dati.

6.8.6 – Modifica livelletta stradale

In prossimità dell’accesso al coronamento si rende necessario alzare la livelletta della strada asfaltata vicinale, al fine di raccorderla alla nuova quota del coronamento pari a 117,25 m s.l.m. A tal fine si procederà con la fresatura dello strato superficiale esistente, la formazione di un nuovo sottofondo e quindi con la stesa del conglomerato bituminoso.

Quanto sopra si rende oltremodo necessario in quanto la quota della strada a monte del coronamento è inferiore a quella di progetto per cui, nella remota eventualità in cui il franco della diga venisse annullato, l’acqua fuoriuscirebbe sulla sponda destra del coronamento.

L’intervento appena descritto avrà uno sviluppo lineare di circa 80 m.

6.9 – Simulazione fotorealistica delle opere di progetto

Nelle immagini che seguono sono rappresentate alcune riprese fotografiche dei luoghi allo stato *ante-operam*, nonché le simulazioni fotorealistiche *post-operam* delle opere previste dal presente progetto.



Figura 27 - Vista del coronamento dello sbarramento della diga Mura Cabonis. Stato *ante-operam* in condizioni di invaso pieno



Figura 28 - Vista del coronamento dello sbarramento della diga Mura Cabonis. Simulazioni fotorealistica dello stato *post-operam* in condizioni di invaso pieno



Figura 29 - Vista dalla sponda sinistra dell'invaso della diga Mura Cabonis. Stato *ante-operam* in condizioni di invaso vuoto



Figura 30 - Vista dalla sponda sinistra dell'invaso della diga Mura Cabonis. Simulazioni fotorealistica dello stato *post-operam* in condizioni di invaso vuoto



Figura 31 - Vista dalla sponda sinistra dell'invaso della diga Mura Cabonis. Simulazioni fotorealistica dello stato *post-operam* in condizioni di invaso pieno



Figura 32 - Vista da monte del paramento dello sbarramento della diga Mura Cabonis. Stato attuale in condizioni di invaso vuoto



Figura 33 - Vista da monte del paramento dello sbarramento della diga Mura Cabonis. Simulazioni fotorealistica dello stato *post-operam* in condizioni di invaso vuoto



Figura 34 - Vista del paramento di valle dello sbarramento nella zona in prossimità del cancello di ingresso al coronamento. Stato attuale



Figura 35 - Vista del paramento di valle dello sbarramento nella zona in prossimità del cancello di ingresso al coronamento. Simulazioni fotorealistica dello stato *post-operam* con inserimento del nuovo locale tecnico

6.10 – Gestione dei rifiuti

Per la realizzazione degli interventi sono previsti operazioni di scavo e rinterro, e di conseguenza attività di gestione di terre e rocce. Per quanto possibile si cercherà di utilizzare le terre provenienti dalle operazioni di scavo per i rinterri e per la regolarizzazione dei paramenti della diga di Mura Cabonis.

I fanghi derivanti dalle operazioni di svuotamento dell'invaso e di pulizia del canale che porta verso la soglia sfiorante dovranno essere analizzati e classificati ai fini del loro corretto smaltimento, verificando che siano non pericolosi e quindi identificabili con l'attribuzione del codice CER 17 05 06 (fanghi di dragaggio, diversa da quella di cui alla voce 17 05 05) e non del CER 17 05 05* (fanghi di dragaggio, contenente sostanze pericolose).

Alcune lavorazioni prevedono lo scavo su terra e roccia. I materiali dovranno essere riutilizzati per quanto possibile, diversamente andranno conferiti a discarica autorizzata per codice CER 17 05 04 (Terre e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17.05.03*).

I materiali di risulta delle demolizioni degli elementi in cemento e cemento armato dovranno essere anch'essi analizzati e classificati, per poi essere smaltiti a norma di legge in strutture autorizzate per il corrispondente codice CER 17 09 04 (rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli di cui alle voci 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03).

6.11 – Espropri

Vista la tipologia di lavori da realizzare, non sono previsti espropri.

Potranno rendersi necessarie occupazioni temporanee di aree al fine di accedere a tutte le aree di lavorazione, da valutare in corso di esecuzione.

6.12 – Autorizzazioni

Tutti gli interventi sono da realizzarsi su opere demaniali o di proprietà del Consorzio.

Tutti gli Enti interessati, di seguito elencati, hanno espresso parere favorevole:

- Servizio Opere Idriche e Idrogeologiche, Assessorato ai Lavori Pubblici della Regione Autonoma della Sardegna;
- Unità Tecnica Regionale dei lavori pubblici (U.T.R.)
- Genio Civile di Oristano, Settore Territoriale delle Opere Idrauliche e Assetto Idrogeologico (S.T.O.I.OR);

- Servizio valutazioni impatti e incidenze ambientali (VIA) della Regione Autonoma della Sardegna, Settore delle valutazioni di impatto ambientale;
- Servizio Tutela del Paesaggio Sardegna Centrale, Settore Piani Programmi Opere Pubbliche e Interventi Grande Impatto Oristano e Medio Campidano, Assessorato Enti Locali, Finanze e Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna;
- Demanio, Assessorato Enti Locali, Finanze e Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna;
- Corpo Forestale, Servizio Territoriale Ispettorato Ripartimentale del C.F.V.A..

L'unica prescrizione è relativa al Servizio Tutela del Paesaggio che prevede l'utilizzo di bitumi colorati con colori simili a quelli delle terre circostanti.

7. Interventi previsti nel primo lotto funzionale

Il progetto generale, in quanto tale, è frutto di interventi complementari tra loro la cui esecuzione permetterà di soddisfare gli obiettivi prefissati.

Col finanziamento assentito da ARGEA Sardegna, sarà possibile realizzare un primo lotto funzionale comprensivo del solo primo punto dell'elenco di cui al capitolo 6, ovvero dell'impermeabilizzazione del paramento di monte.

L'intervento, così come descritto negli elaborati del progetto generale, prevede la stesa del conglomerato bituminoso fino alla nuova quota del coronamento, pari a 117,25 m s.l.m. Tale quota può essere raggiunta solo dopo aver scoticato e regolarizzato il piano del coronamento e, quindi, aver posato il misto cementato per uno spessore di 40 cm e infine di pietrisco.

Stante gli importi a disposizione, non potendo prevedere gli interventi di cui al punto 6.2, si procederà a stendere il manto bituminoso fino all'attuale quota del coronamento pari a 116,85 m s.l.m, dove verrà realizzato il cordolo in cls su cui giuntare l'impermeabilizzazione. Poiché la pendenza media del paramento di monte è pari a 2,85:1 e la lunghezza del coronamento è pari a 200 m, l'abbassamento della quota finale dell'impermeabilizzazione produce una riduzione di circa 228 m².

Con tale intervento, nonostante non si raggiunga la quota terminale di progetto, si è comunque in grado di garantire l'impermeabilità dello sbarramento nonché di poter eseguire in futuro gli altri interventi di cui al progetto generale.

Appare utile precisare che si cercherà di procedere con gli altri interventi, dando priorità alla ricarica del coronamento e risagomatura dei paramenti, mediante le economie derivanti dal ribasso d'asta e dagli imprevisti.